



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

ANÁLISIS MORFOGEOMÉTRICO 2D EN DIAGNÓSTICO DE MALOCCLUSIONES EN PACIENTES ADULTOS

Jesús Andrés Elorza Durán

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Odontología
Postgrado de Ortodoncia y Ortopedia Maxilar
Bogotá, Colombia
08 de mayo de 2017

ANÁLISIS MORFOGEOMÉTRICO 2D EN DIAGNÓSTICO DE MALOCCLUSIONES EN PACIENTES ADULTOS

Jesús Andrés Elorza Durán

Trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de:

Especialista en Ortodoncia y Ortopedia Maxilar

Directora:

Clementina Infante Contreras DD

Profesora Titular Universidad Nacional de Colombia

Codirectora:

Nancy Esperanza Castro Guevara MSc

Profesora Universidad Nacional de Colombia

Línea de Investigación:

Biometría Craneofacial Humana

Grupo de Investigación en Crecimiento y Desarrollo Craneofacial

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de odontología

Postgrado de Ortodoncia y Ortopedia Maxilar

Bogotá D.C., Colombia

08 de mayo de 2017

Dedicatoria

A mi hijo, Jerónimo Elorza Pérez, mi mejor proyecto, mi mejor hallazgo

A Marbelly Durán

A Alfredo Puerta

A Julián, Angie y Valentina

Componentes principales en mi vida

*Para ese ser tan especial que día a día
añooro tener y que donde quiera que esté se
siente orgulloso de mí.*

Siempre vivirás en mi corazón, Papá

Agradecimientos

Quiero agradecer a la Universidad Nacional de Colombia por brindarme la oportunidad de formarme como Ortodoncista y Ortopedista Maxilar, y en ella, a las Doctoras Clementina Infante Contreras y Nancy Esperanza Castro Guevara por orientarme en el desarrollo de este importante trabajo, tanto para mi formación como para la ciencia, ya que sin ellas no se hubiera podido finalizar con éxito. Hago una mención especial a las doctoras Nancy Esperanza Castro Guevara y quien ha hecho aportes valiosos a esta línea de investigación, cuyos trabajos fueron pilares fundamentales en el desarrollo de éste.

A la Dra. Adriana Forero Niño, Coordinadora Del Postgrado De Ortodoncia Y Ortopedia Maxilar De La Universidad Nacional De Colombia, por su acompañamiento y orientación durante estos dos años y medio. Siempre la recordaré y diré con orgullo que mi residencia la hice bajo la coordinación de una excelente docente y persona.

Resumen

El estudio de la forma de las estructuras craneofaciales, la velocidad, cantidad y dirección de su crecimiento se han estudiados con fines diagnósticos, reconstructivos y de clasificación; así mismo, su conocimiento es importante en la identificación de discrepancias esqueléticas, en el reconocimiento del balance facial vertical, de las discrepancias anteroposteriores entre los maxilares y la simetría de las estructuras.

Con el presente estudio se buscó identificar patrones craneofaciales verticales y sagitales en relaciones esqueléticas clase I, II, y III sobre imágenes radiográficas de perfil, por medio de morfometría geométrica 2D; a través del cual se podrán caracterizar las diferencias conformacionales de las discrepancias verticales y sagitales de la estructura craneofacial en dichas relaciones esqueléticas y, describir cambios morfológicos de los grupos conformacionales determinados.

La muestra poblacional que se utilizó para el presente estudio fue la misma clasificada y caracterizada en la Tesis de Maestría de la Dra. Nancy Esperanza Castro Guevara, Toda la información de toma y clasificación podrá ser consultada en el documento de tesis “Modelo de Identificación de Patrones del Tercio Medio Facial Clase I, II y III Esquelética: Un Análisis Morfogeométrico”, la cual es consultable en el repositorio de la Universidad Nacional de Colombia (1).

Se obtuvieron matrices de landmarks anatómicos homólogos de la región Craneofacial Total utilizados para estimar por Análisis Generalizado de Procrustes (AGP) el Tamaño del Centroide (CS) y los componentes uniforme y no uniforme de la conformación (PW). La identificación de patrones de la region Craneofacial Total se determinó por Análisis de Componentes Principales (ACP) y análisis de Clústers utilizando las PW de la Región Craneofacial Total (RCFT). La prueba de repetibilidad mostró una completa concordancia en las coordenadas alineadas después de AGP, siendo superiores a 0.95 en la vista lateral.

Se encontraron diferencias significativas entre tamaños de centroide de maloclusiones ($p>0.05$). Se observaron diferencias conformacionales entre los grupos de maloclusiones. El mayor porcentaje de clasificación correcta de las maloclusiones fue para el Cluster 5 seguido del Clúster 2 con porcentajes de 80% y 60% respectivamente, sin embargo los demás porcentajes sobrepasaron el 50%. Se realizaron los análisis con los cuatro grupos de maloclusión clasificados en la Tesis de Maestría de la Dra. Nancy Esperanza Castro Guevara, de los cuales tres evidenciaron todas las maloclusiones clásicas, Clase I, II y III correspondientes a los Clústers 1 al 3. El cuarto patrón identificó individuos con características combinadas de las maloclusiones de Clase I y II, que para efectos didácticos en la presente investigación se nombraron como Clúster 4 y Clúster 5.

Se concluyó que el Tamaño Centroides de cada una de las maloclusiones estudiadas reporta diferencias significativas. La conformación de la Región Craneofacial Total presentó alta poder de clasificación, y se encontró una asociación importante entre las estructuras craneofaciales estructuras y el comportamiento de las maloclusiones, siendo relevante la flexión de la base de cráneo en el desarrollo de patrones sagitales y verticales alterados. Así mismo, el comportamiento intraestructural determina rasgos importantes en la caracterización de las maloclusiones. La Morfometría Geométrica es una herramienta útil en la caracterización de patrones de maloclusiones esqueléticas, su análisis y cuantificación con respecto a las conformaciones de la Región Craneofacial Total.

Palabras clave: Morfometría geométrica, Landmark, Maloclusión Esquelética, biotipo facial. Se usaron ecuaciones de búsqueda.

Contenido

Resumen	IX
Summary.....	¡Error! Marcador no definido.
Contenido	XI
Lista de figuras.....	XIII
Lista de tablas	XV
Lista de graficas	XVI
Lista de Símbolos y abreviaturas.....	XVII
Introducción	1
1. Marco conceptual.....	5
1.1 El complejo Craneofacial.....	5
1.2 Métodos de estudio	10
1.2.1 Morfometría Geométrica (MG).....	13
1.3 Fundamentos de los equipos y software utilizados	19
1.3.1 Equipo Radiográfico	19
1.3.2 Software	20
1.4 Consideraciones Éticas.....	21
2. Materiales y Métodos	23
2.1 Sujetos.....	23
2.1.1 Selección y obtención de la muestra.....	23
2.1.2 Toma de las Radiografías.....	23
2.1.3 Clasificación de la muestra.....	24
2.1.4 Selección de variables.....	26
2.2 Método.....	26
2.2.1 Análisis MG –Landmarks.....	26
2.1.2 Obtención de los datos	27
1.1.1 Análisis Estadístico de MG Landmarks:	30
2.1.3 Medición del error intraobservador.....	30
2.1.4 Análisis del tamaño y la conformación	30
2.1.5 Análisis discriminante	31
2.1.6 Región Craneofacial Total (RCFT).....	32
2.1.7 Análisis MG –Landmarks- para clasificación de nuevos individuos	33

3. Resultados	35
3.1 Morfometría Geométrica	35
3.1.1 Repetibilidad	35
3.1.2 Detección de Datos Atípicos.....	35
3.1.3 Análisis de tamaño	38
3.1.4 Análisis de la Conformación	41
3.1.5 Análisis Discriminante	41
3.1.6 Clasificación de individuos	42
3.1.7 Exploración gráfica para RCFT	45
4. Discusión.....	55
5. Conclusiones y recomendaciones	68
5.1 Conclusiones	68
5.2 Recomendaciones	69

Lista de figuras

Figura 1: Transformaciones que no alteran la forma.....	15
Figura 2: Forma y tamaño	15
Figura 3: Transformaciones sobre coordenadas.....	17
Figura 4: Definición de tamaño de centroide.....	18
Figura 5: Consenso de las maloclusiones halladas	19
Figura 6: Configuración de Landmarks para RCFT	28
Figura 7: Representación del bivariado	29
Figura 8: Detección de datos atípicos por el método de cuantil adaptativo en región craneofacial total (RCFT) Figuras: a), b), c) y d).....	37
Figura 9: Distribución empírica y teórica de RD2.....	37
Figura 10: Distribución empírica y teórica de RD2 en región craneofacial total (RCFT). 37	
Figura 11: Distribución empírica y teórica de RD2	38
Figura 12: Distribución de los grupos de maloclusión por conformación de la RCFT	42
Figura 13: Distribución de los grupos de maloclusión por conformación de la RCFT	43
Figura 14: Distribución de la varianza en tres planos del espacio.....	44
Figura 15: Consensos de los cuatro Grupos de maloclusión,	45
Figura 16: Vectores de individuos con mayor deformación en el Cúster 1	47
Figura 17: Exploración de la variación morfológica del Cluster 1	50
Figura 18: Exploración de la variación morfológica del Cluster 2	51

Figura 19: Exploración de la variación morfológica del Cluster 3.....	52
Figura 20: Exploración de la variación morfológica del Cluster 4.....	53
Figura 21: Exploración de la variación morfológica del Cluster 5.....	55
Figura 22: Vistas de individuos con diferentes maloclusiones en los cuales es evidente la relación de la base de cráneo y la maloclusión esquelética	59
Figura 23: Consensos de los cinco grupos de maloclusiones estudiados	60
Figura 24: Mapas de factores de expansión para cada uno de Clúster	63
Figura 25: Variación morfológica del Cluster 3.....	65
Figura 26: Variación en áreas específicas en la maloclusión esquelética Clase III mediante el modelo de elementos finitos	66

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1: Tipos de Landmark.....	16
Tabla 2: Criterios de inclusión y exclusión utilizados cuando se realizó la selección de la muestra	24
Tabla 3: Clasificación esquelética según ángulo ANB.....	24
Tabla 4: Distribución inicial de la muestra por grupos de maloclusión (Metronukak)	25
Tabla 5: Clasificación definitiva de la muestra	25
Tabla 6: Tipos de landmarks utilizados en la definición de las conformaciones. Radiografía de Perfil.....	27
Tabla 7: Reporte de repetibilidad	36
Tabla 8: Reporte análisis de Krustall-Wallis para evaluación por pares de diferencias en tamaño de centroide.....	40
Tabla 9: Distancias de Mahalanobis medidas entre los centroides estadísticos en los cinco Clústers.....	41
Tabla 10: Clasificación por permutaciones.....	43
Tabla 11: Porcentaje de clasificación de individuos por Clúster	64

Lista de graficas

Grafica 1: Diferencia de tamaño centroide entre grupos de maloclusión38

Grafica 2: Box Plot con cinturas para diferencia de tamaño centroide entre grupos de maloclusión.....39

Lista de Símbolos y abreviaturas

BC Base de Cráneo

PNC Posición Natural de Cabeza

AGP Análisis Generalizado de Procrustes.

MG Morfometría Geométrica.

CCN Células de la Cresta Neural.

PF Prominencia Frontonasal.

PM Prominencia Maxilar

Pmd Prominencia Mandibular

PMN Prominencia Nasal Media

PNL Prominencia Nasal Lateral

TPS Lámina Delgada de Deformación (Thin Plate Splin)

CP Componente Principal

RCFT Región Craneofacial Total

CS Tamaño de Centroide

Introducción

El desarrollo del complejo craneofacial resulta de la morfogénesis y el crecimiento del neurocráneo, la cara y el aparato masticatorio. La morfogénesis de los huesos y cartílagos del esqueleto craneofacial, inician durante la embriogénesis, continúa durante la infancia y se completa durante la edad adulta. Los componentes craneales que rodean los órganos de los sentidos están desarrollados casi en su totalidad al nacer. El crecimiento continúa durante la vida posnatal, proporcionalmente con el aumento en tamaño y función de las estructuras adyacentes. El crecimiento postnatal ocurre en cantidades, intervalos y direcciones diferentes dentro de cada estructura individual y son regulados por procesos biológicos influenciados por factores genéticos y ambientales (2,3).

En el adecuado enfoque del diagnóstico y tratamiento de las maloclusiones interviene el conocimiento profundo de los componentes craneofaciales, tanto óseos como dentales involucrados en el desarrollo de éstas; la clasificación de las maloclusiones se ha determinado a partir de la comparación entre las características dentales, óseas y de tejidos blandos, partiendo de un parámetro de normalidad considerando características dentales, esqueléticas, funcionales y mixtas (4).

Las discrepancias esquelética pueden valorarse en los tres planos del espacio; en el aspecto anteroposterior el perfil facial se clasifica como ortognático, retrognático y prognático compatibles con maloclusión Clase I, Clase II y Clase III respectivamente, las cuales se pueden valorar mediante la medición del ángulo de la convexidad (glabella, subnasal y pogonion) (5); también se han desarrollado cefalometrías basadas en ángulos

y medidas lineales, con la incorporación de diferentes planos de referencia que permiten la ubicación espacial de los maxilares (6,7).

En el perfil ortognático o Clase I los maxilares están orientados correctamente en el plano sagital o anteroposterior. En el perfil retrognático o Clase II el maxilar está orientado anteriormente con respecto a la mandíbula, mientras que en el perfil retrognático se observa lo contrario. Ambos están asociados con un biotipo facial y cefálico, con formas y características particulares de las estructuras craneofaciales; asociadas con la flexión de la base craneal, la posición y rotación del cóndilo mandibular (8–10).

La mayoría de estudios presentan reportes de cambios dentales, esqueléticos, verticales y anteroposteriores en pacientes en crecimiento, mediante la aplicación de mediciones lineales y angulares, y determinando planos de referencia. Estudios convencionales de las discrepancias esqueléticas han sido realizados a través de modelos de regresión univariados y multivariados, utilizando variables cefalométricas o antropométricas, cuyo objetivo ha sido determinar la velocidad, cantidad y dirección del crecimiento (11–14), sin describir los cambios generales de la forma en una área localizada de ésta, dejando de lado la asociación de todas las estructuras (15).

Los análisis univariados de las medidas lineales no distinguen cuáles variables y cuánto de éstas aportan a la variación total, los resultados son difíciles de interpretar a través los listados numéricos y existe dificultad para obtener relaciones espaciales entre las estructuras (16). Otras limitaciones de la morfometría tradicional son: la superposición de las mediciones que cubren los ejes anatómicos mayores, la incapacidad de reproducir visualmente en dos o tres dimensiones, el patrón de variación de la forma de los objetos biológicos, y la pérdida de poder de discriminación estadístico debido a la superposición (17).

Es por ello que surge la necesidad de plantear un estudio que permita identificar los patrones craneofaciales verticales y anteroposteriores en relaciones esqueléticas I, II, y III, por medio de morfometría geométrica 2D, contribuyendo a la caracterización de las diferencias conformacionales de las discrepancias verticales y anteroposteriores de la estructura craneofacial en dichas relaciones esqueléticas, además se podrán describir los cambios morfológicos de los grupos conformacionales en pacientes adultos.

Considerando las limitaciones mencionadas, la presente investigación pretende investigar si a través del análisis morfométrico geométrico se puede identificar la participación de las características verticales y sagitales de los componentes craneofaciales en la conformación de las relaciones esqueléticas I, II y III, y así resaltar su importancia en el diagnóstico, pronóstico y seguimiento de las características esqueléticas de los individuos; además su uso permite el estudio cuantitativo y preciso de las estructuras anatómicas, lo cual es importante debido a que muchos de los paquetes de software desarrollados en la actualidad permiten la realización de mediciones exactas, las cuales son susceptibles al error, baja precisión y confiabilidad cuando se obtienen de forma manual, considerando que mediante la morfometría geométrica se separa la forma en tamaño y conformación craneofaciales, siendo la conformación craneofacial la variación topológica de las estructuras.

El desarrollo de este proyecto de investigación aportará nuevo conocimiento al ya existente con respecto a las diferencias conformacionales del complejo craneofacial en individuos adultos, y al diagnóstico de las maloclusiones, las discrepancias verticales y anteroposteriores. Establecerlo orientará los enfoques terapéuticos en pacientes adultos ya sea con ortodoncia o con tratamientos orto quirúrgicos, así mismo, los hallazgos permitirán la evaluación profunda del pronóstico individual de las estructuras del complejo craneofacial en áreas como la ortopedia maxilar, la cirugía ortognática, estética y reconstructiva, mediante el análisis de la forma y posición intra e interestructuralmente en el aspecto vertical y anteroposterior, apoyando así la planificación de la corrección de secuelas por trauma o malformaciones en las que la proyección, simetría y balance son determinantes para la armonía facial.

La muestra que utilizará el estudio será la misma lograda en la Tesis de Maestría de la Dra. Nancy Esperanza Castro Guevara. toda la información de caracterización y clasificación podrá ser consultada en el documento de tesis "Modelo de identificación de Patrones del Tercio Medio Facial Clase I, II y III Esquelética: Un Análisis Morfogeométrico", la cual es consultable en el repositorio de la Universidad Nacional de Colombia (1).

Estudios previos (18,19) realizados en la Universidad Nacional de Colombia han evaluado parámetros de morfometría geométrica en muestras clase I, II y III, y el realizado por la Dra. Nancy Castro Guevara se basó en una muestra compuesta por pacientes con

maloclusiones clase I, II y III en tercio medio facial, por tanto se pretende complementar los hallazgos logrados mediante la identificación de patrones de clase I, II y III en el aspecto vertical y sagital.

El objetivo general de esta investigación fue Identificar patrones craneofaciales verticales y sagitales en relaciones esqueléticas I, II, y III sobre imágenes radiográficas de perfil, por medio de morfometría geométrica 2D, y se planteó la siguiente pregunta de investigación ¿Es el análisis morfométrico geométrico una herramienta para la identificación de la participación de las características verticales y sagitales de los componentes craneofaciales en la conformación de las relaciones esqueléticas Clase I, II y III?. Para dar respuesta a la pregunta de investigación se desarrollaron dos objetivos específicos:

1. Caracterizar las diferencias conformacionales de las discrepancias verticales y sagitales de la estructura craneofacial en relaciones esqueléticas I, II, y III.
2. Describir cambios morfológicos de los grupos conformacionales determinados.

En el tercer capítulo se presentan los resultados, los cuales responden a la pregunta de investigación y a los objetivos propuestos mediante la aplicación de morfometría geométrica reportando las diferencias de tamaño y conformación de las diferentes maloclusiones, además de la exploración gráfica de las variaciones morfológicas de la región RCFT.

En el capítulo cuarto se discuten aspectos relacionados con la caracterizar de las diferencias conformacionales de las discrepancias verticales y sagitales de la estructura craneofacial en relaciones esqueléticas I, II, y III y cambios morfológicos de los grupos conformacionales determinados. Finalmente se exponen las conclusiones y recomendaciones sobre esta investigación.

1. Marco conceptual

El marco conceptual de esta investigación fue desarrollado en dos fases. En la primera se describen los conceptos generales del complejo craneofacial y lo relacionado con su crecimiento y desarrollo, el diagnóstico de las maloclusiones en pacientes adultos y la conformación de los diferentes patrones craneofaciales en las maloclusiones esqueléticas sagitales y verticales reportados en la literatura. En la segunda, se describen los métodos de estudio del complejo craneofacial y las ventajas de la utilización de la MG frente a la Morfometría clásica.

1.1 El complejo Craneofacial

La morfogénesis de los huesos y cartílagos del esqueleto craneofacial, inician durante la embriogénesis, continúa a través de la infancia y se completa durante la edad adulta. Los componentes craneales que rodean los órganos de los sentidos están casi totalmente desarrollados al nacer, los otros elementos craneales crecen y cambian durante la vida posnatal proporcionalmente con el aumento en tamaño y función de las estructuras adyacentes (2)(3).

En el desarrollo del complejo craneofacial se ha identificado la participación de tres entidades que se originan embriológicamente de las células de la cresta neural (CCN) y tejido mesodérmico paraxial, los cuales son: el neurocráneo, la cara y el aparato masticatorio (20). El neurocráneo está compuesto por la bóveda craneal o desmocráneo, y por la base de cráneo o condrocráneo (20). La base craneal (BC) tiene como fin principal proteger y soportar el cerebro (20).

El sistema *estomatognáticofacial* se deriva de los arcos faríngeos y del proceso frontonasal, cuya formación proviene de hueso formado intramembranosamente con

origen en las CCN; también es conocido como *esplacnocráneo* o *viscerocráneo*. Este sistema alberga la musculatura oromasticatoria y facial, los huesos maxilares, mandibulares, nasales, orbitales, malares y frontales (20)

El inicio del desarrollo de la cara se da hacia la cuarta semana de gestación, en el cual se puede describir cinco etapas durante las cuales las CCN son inducidas en el límite de ectodermo/neuroectodermo (21), desde donde se da la migración hacia los primordios faciales (22). La proliferación regional conduce la formación de cinco prominencias faciales: una prominencia frontonasal (PF) y dos pares de prominencias maxilares (PM) y mandibulares (PMd). La primera crece ventral y medialmente y aparecen sobre ella las plácodas olfatorias, que se invaginan por el crecimiento de la PF, formando la fosita olfatoria, que divide esta prominencia en dos procesos nasales medios (PNM) y dos procesos nasales laterales (PNL). La PF y los PNM se convertirán en el tercio medio facial, frente, puente nasal y paladar primario, incluyendo segmento premaxilar del maxilar superior; las partes laterales de la nariz y las mejillas se desarrollan a partir de PNL y PM respectivamente (23), y los PMd, forman la mandíbula (8,24). Finalmente, el desarrollo de la cara se consolida por el crecimiento direccional del esqueleto (25).

Estudios antropológicos han relacionado el crecimiento y desarrollo de las estructuras faciales con la flexión de la base craneal y el crecimiento del neurocráneo los cuales promueven el desarrollo de patrones esqueléticos dado que la base craneal está integrada funcional y estructuralmente con los sistemas que conforman la cabeza (26). La morfología de la base craneal tiene una influencia importante en el complejo craneofacial a causa de factores topológicos y ontogenéticos, tal como sucede con el complejo nasomaxilar, el cual se relaciona con la base craneal anterior y la mandíbula con la base craneal media y posterior a través de la fosa glenoidea, así mismo la mandíbula se encuentra en estrecha relación con la base craneal posterior a través de la porción condilar con la fosa temporal (27–29).

El enfoque del diagnóstico y tratamiento de las maloclusiones está influenciado por el conocimiento profundo de los componentes óseos, dentales y la relación existente entre ellos; así mismo, debe conocerse la filogenia de las estructuras craneofaciales y posible etiología de alteraciones en la morfología, el tamaño y la posición de las estructuras, cuyos efectos pueden explicar las diferencias en la conformación morfológicas y de tamaño observadas en pacientes adultos (30).

La clasificación de las maloclusiones se determina a partir de la comparación entre los componentes dentales y esqueléticos, partiendo de un parámetro de normalidad; se clasifican según las características dentales, esqueléticas, funcionales y mixtas (31).

La maloclusión esquelética puede valorarse en los tres planos del espacio; en el aspecto anteroposterior o sagital el perfil esquelético y de tejidos blandos se clasifica como ortognático, retrognático o clase II y prognático o clase III, los cuales pueden ser compatibles con maloclusiones de clase I, clase II y clase III respectivamente, cuya evaluación se realiza mediante la medición del ángulo de la convexidad (glabella, subnasal y pogonion) cuya norma debe estar entre 165° y 175°, cuando el perfil es ortognático, mientras que un valor mayor se relaciona indica una Clase III y un ángulo menor indica una Clase II (5), así mismo, se han desarrollado mediciones antropométricas basadas en ángulos y medidas lineales, con la incorporación de diferentes planos de referencia que permiten la ubicación espacial de los maxilares (11,13,32).

En el perfil ortognático o Clase I los maxilares están orientados correctamente en el plano sagital siendo notorio un equilibrio entre los maxilares y la base craneal.

En el perfil retrognático o Clase II el maxilar está orientado anteriormente con respecto a la mandíbula, y está asociado con los pacientes dolicocefalos en los que la forma cefálica es estrecha y alargada, lo que indica que la base craneal es más plana con una flexión más abierta entre base craneal anterior y posterior, como consecuencia se genera un patrón facial en el que el complejo maxilar está ubicado en una posición más protrusiva en relación a la mandíbula, y a su vez más descendido en relación al cóndilo mandibular con una rotación posteroinferior de toda la mandíbula (8).

En el perfil prognático o Clase III, la mandíbula está más adelante que el maxilar y se asocia con el patrón braquicefálico cuya morfología es consistente con una forma cefálica ancha y una cabeza redondeada, con flexión de la base craneal más cerrada, lo que produce una disminución de la dimensión horizontal en la fosa craneal media, resultando una posición más posterior del maxilar, con una longitud relativamente corta, conformando un patrón facial en el cual el complejo nasomaxilar es retrusivo y la mandíbula presenta una localización más anterior (9,33).

Enlow (34) propuso un instrumento de análisis en el cual no se utilizaban planos cefalométricos convencionales, sino que cada plano representaba un hueso o una parte de él. En este análisis las dimensiones se acomodan al tamaño facial, en paciente entre los 6 a los 15 años de edad y fue la base del análisis de las contrapartes de Enlow, (34), el cual permite el análisis de las condiciones morfológicas en cada individuo, considerando cómo encajan los componentes anatómicos de las diferentes estructuras, además evalúa los factores morfológicos que determinan patrones craneofaciales (34).

Las maloclusiones esqueléticas se relacionan con el patrón craneofacial, el cual está influenciado por la base craneal que a su vez guarda una estrecha relación con la morfología del cráneo (27,35,36).

El biotipo facial en el aspecto vertical se evalúa utilizando diferentes métodos; el diagnóstico radiográfico proporciona las características del tercio facial medio e inferior, dependiendo de parámetros como la dirección de crecimiento, el eje facial, la profundidad facial, ángulo del plano mandibular, altura facial inferior y el arco mandibular (6), además el examen clínico y fotográfico permite la apreciación visual de la cara y el cráneo, y mediante la realización de mediciones se clasifican en: mesoprosopo (mesofacial) que corresponde a caras proporcionadas, euriprosopo (braquifacial) que corresponde a caras cortas y el leptoprosopo (dolicofacial) que corresponde a caras alargadas (27,37).

El patrón dolicocefalo se caracteriza presentar una forma cefálica estrecha y alargada en donde el cráneo es horizontalmente más largo y relativamente angosto, lo que predispone una base craneal más plana con flexión más abierta entre la base craneal anterior y posterior, produciéndose un patrón facial en el cual el complejo maxilar está ubicado en una posición más protrusiva en relación a la mandíbula y, a su vez, más descendido en relación al cóndilo mandibular. Lo anterior genera una rotación postero-inferior de toda la mandíbula, característica que se ha asociado con maloclusión de Clase II (8,31,38).

El patrón braquiocefálico se caracteriza por presentar una forma cefálica anchas y cabeza redondeada; la flexión de la base craneal es más cerrada, produciéndose de esta forma una disminución en la dimensión horizontal en la fosa craneal media, cuyo resultado es una posición más posterior del maxilar, con una longitud relativamente corta, con un patrón

facial en el cual el complejo nasomaxilar se encuentra retrusivo y la mandíbula una localización más anterior, características asociadas con maloclusión de Clase III (9).

Estos biotipos guardan estrecha relación con la forma de los arcos dentales y los dientes. Arcos estrechos y dientes con corona anatómica larga corresponden a dolicofaciales, mientras que arcos dentales más anchos y con dientes más cortos se corresponden con patrones braquifaciales; estos patrones se relacionan con el patrón de divergencia entre las bases óseas. Pacientes hiperdivergentes presentan un patrón de cara alargada siendo concomitante con un patrón leptoprosopo, mientras que los pacientes hipodivergentes presentan caras cortas lo que se corresponde con un patrón euriprosopo (27,39).

En ortodoncia, en los últimos 30 años se ha incrementado el desarrollo de programas cefalométricos para realizar un adecuado diagnóstico, planificar el tratamiento y mantener los registros de una forma digital. Según Tourné, citado por Esteva et al (40), la utilización de las imágenes digitales es más rápida para el trazado, sin embargo, el procesamiento para realizar la imagen digital es descrita como una limitación de esta herramienta, y hace una revisión crítica de sus principales aplicaciones en el campo de la ortodoncia, así como también describe que la exactitud de las técnicas digitales es menor que la realizada manualmente (40).

El uso de las radiografías digitales presenta muchas ventajas, tales como mayor nitidez, facilitando la ubicación de puntos anatómicos (landmarks) (41), además mediante la imagen digital se pueden realizar diagnósticos cefalométricos con mayor rapidez, sin embargo, la desventaja planteada por el autor es el desconocimiento en el manejo de los programas cefalométricos por parte de los ortodoncistas, por ello, se rehúsan al cambio de los métodos tradicionales a los digitales, además el elevado costo de los programas cefalométricos (42).

En el campo de la investigación, permite la realización de un proceso estandarizado, no obstante, la calidad de los resultados dependerá del conocimiento del operador, la habilidad para la ubicación de landmarks de la precisión al realizar mediciones angulares y lineales, y del nivel de cansancio al que esté sometido el operador (42).

1.2 Métodos de estudio

Desde el siglo XX, se inició el estudio organizado de los componentes craneofaciales y sus variaciones empleado los métodos de la craneometría clásica con el reconocimiento de la antropología física como una disciplina, cuyo objetivo era aumentar la comprensión de las relaciones craneofaciales dentro y entre las diferentes poblaciones humanas.

Desde entonces se han desarrollado métodos de craneometría clásica y cefalometría para mejorar la comprensión de las relaciones craneofaciales individuales y poblacionales. El interés temprano por la variación morfológica de los diferentes organismos y el pensamiento biométrico se sustenta principalmente en conceptos introducidos a partir del siglo XIX por Adolph Quetelet quien desde la estadística promovió la recolección de datos basados en normas, métodos y definiciones (43).

Otros autores importantes en el desarrollo de esta área del conocimiento fueron Francis Galton, considerado uno de los fundadores de la antropometría, Karl Pearson, quien introdujo la geometría en la estadística y Ronald Fisher quien introdujo y desarrolló la noción de modelo estadístico y los conceptos de consistencia, eficiencia, precisión, validación, verosimilitud e información (44).

En los últimos años, se han estudiado los parámetros normales y anormales del crecimiento de la región craneofacial para comprender y controlar los factores asociados con las maloclusiones dentales y esqueléticas. El análisis de la morfología craneofacial presenta muchas dificultades, las cuales han sido discutidas por Burstone, Enlow, Falkner, Harris, Hirschfeld, Huxley, Johnson, Kowalski, Medawar, Scott, y Walker et al (45), por nombrar algunos, pero la dificultad fundamental está relacionada con la complejidad de la morfología craneofacial y el cambio estructural. Durante el crecimiento, el complejo craneofacial experimenta cambios relacionados con el crecimiento y desarrollo de todos sus componentes. Otro aspecto importante que se debe considerar son los tamaños reducidos en las muestras y la combinación entre sexos lo que ha arrojado resultados sobre los patrones normativos de la morfología craneofacial basados en pequeñas muestras de poblaciones con características faciales y esqueléticas normales (45).

Los planos de referencia fuera del sistema masticatorio han permitido las descripciones de variabilidad facial ya que estos son más estables durante el crecimiento. Downs en 1956 recomienda la horizontal de Frankfort ya que es un plano fácilmente reproducible no solo

esqueléticamente, sino también en tejidos blandos, para evaluar las relaciones esqueléticas anteroposteriores correspondientes a los tercios faciales medio e inferior y las relaciones verticales (6). Brodie en 1938 publicó su estudio, tomando como plano de referencia la base de cráneo, particularmente el plano de Bolton (basió-n-nasió-n) (46), mientras que Bjork estudió la oclusión dental y sus aspectos biológicos relacionándolos con las alteraciones esqueléticas tomando como plano de referencia la base craneal definida con el plano S-N (47).

El estudio biométrico logra una buena integración con los métodos estadísticos multivariantes durante la década de los sesentas y setentas, mediante la incorporación de herramientas analíticas para la descripción de patrones de variación morfológica intra e interpoblacionales (48,49).

La forma y el tamaño del objeto se capturan a partir de un conjunto de variables cuantitativas tales como longitud, ancho, altura y ángulos mediante los cuales se realiza el análisis estadístico multivariante, agrupando la información que indica el cambio que se produce en el espacio multidimensional y transformándolo en parámetros que dan cuenta de la variación estructural, los que conllevan a una abstracción matemática de la visualización directa del cambio de las estructuras (1). Lo anterior se puede ejemplificar mediante la aplicación de un análisis cefalométrico convencional que utilizan cuatro parámetros: las mediciones lineales entre dos puntos cefalométricos, los ángulos calculados a partir de tres landmarks, donde se debe considerar que el tamaño de los ángulos varía con la ubicación espacial relativa de los puntos, las áreas de triángulos en donde se puede medir y sumar, por ejemplo, el área del maxilar en cefalogramas laterales, y las proporciones que por lo general se realizan entre distancias lineales (1) .

La comparación entre los grupos de una muestra mediante la utilización del Análisis Convencional Cefalométrico es válido cuando el objeto de estudio es solo una variable como el ángulo ANB. Cuando se desea realizar comparaciones de dos o más estructuras ya sean lineales, angulares o de proporción, no es apropiado, ya que pueden no ser independientes y estar altamente correlacionadas. Tal como sucede en la evaluación de las discrepancias anteroposteriores del maxilar, en las cuales, un aumento en la medición del plano palatino (ENA-ENP) no puede localizar la región de cambio dentro del maxilar

superior, o detectar los cambios posicionales en relación con las estructuras anatómicas adyacentes debido a los cambios relacionados con el crecimiento (1,50).

Los planos de referencia dificultan la valoración de la asociación de las estructuras causando interpretaciones contradictorias, lo que exige más medidas para la completa descripción de las estructuras craneofaciales y el diagnóstico de cada paciente. Además, obstaculiza la comparación de patrones entre pacientes y su clasificación (50). Dados estos obstáculos con el análisis cefalométrico, y en vista de la necesidad de analizar el patrón de variación en la forma, Moorrees en 1962 utilizó el método del diagrama de malla, para estudiar la morfología craneofacial mostrando los resultados gráficos, haciendo su interpretación más sencilla (51). Utilizó horizontales paralelas al plano palatino (ENA-ENP) y verticales paralelas a la perpendicular del punto nasion, mediante los cuales comparó patrones del tercio medio facial entre un grupo familiar, reportando su utilidad en estudios genéticos.

Anatómicamente los humanos muestran una variación geográfica en la forma del esqueleto facial. A pesar de la magnitud y la naturaleza de estas diferencias en los adultos ha sido ampliamente documentado en análisis métricos (Howells, 1973, 1989; Froment, 1992; Hanihara, 1993a, 1993b, 1996; Relethford, 1994). Se reconocen las mediciones del CCF como indicadores fiables de la población, además, en la mayoría de estudios de variación craneométrica los patrones faciales son altamente reproducibles entre los grupos (52,53).

La Hipótesis de la Matriz funcional (FMH) afirma que la forma del cráneo no es el resultado de su propio control genético, sino que es modificado epigenéticamente por los tejidos y cavidades. Los componentes del CCF forman un sistema estructural funcional, en el que cada cambio filogénico y ontogénico debe ser balanceado de acuerdo al sistema biológico en general (52).

El concepto de integración morfológica describe las relaciones estructurales, sus limitaciones y el resultado de las interacciones, entre los elementos morfológicos que intervienen en el desarrollo, la función, la genética y los procesos evolutivos. Esto en términos estadísticos, significa un alto nivel de asociación que es investigado mediante métodos multivariantes y análisis de la conformación (54).

El diagnóstico de las maloclusiones ha sido un tema común de estudio, pero mediante la aplicación de la MG se han generado conceptos a partir de los cuales se puede establecer

un diagnóstico más preciso y por ende planes de tratamiento más precisos; este tema, se ha estudiado en pacientes en crecimiento, como lo hicieron Singh et al en 1998 quienes evaluaron diferencias morfológicas en sujetos de diversos orígenes étnicos no tratados, con maloclusiones de Clase III, con el fin de examinar la validez de los protocolos de tratamiento, encontrando que los niños coreanos desarrollan la maloclusión Clase III, por dimensiones menores en la base craneal anterior y el tercio medio facial, asociados a una morfología mandibular grande y menos favorable (35).

Franklin, D et al, reportaron nuevos datos de morfometría después de examinar la variación craneal en 12 poblaciones humanas del sur de África. En total, 298 individuos masculinos fueron estudiados; su propósito fue investigar las similitudes morfológicas, las diferencias, y la variación dentro del grupo poblacional. Se analizaron las coordenadas en tres dimensionales de 96 puntos de referencia y las diferencias morfológicas, mostrando un acercamiento entre la cefalometría (morfometría clásica) y la MG por medio de la conversión matemática de las coordenadas lineales a tridimensionales, lo que permitió su comparación con las grandes colecciones existentes analizadas por morfometría clásica (55,56).

1.2.1 Morfometría Geométrica (MG)

La (MG), definida como la unión entre la biología y la geometría, se ha convertido en una herramienta fundamental para el estudio de estructuras fenotípicas. Su principal innovación teórica radica en un cambio rotundo en la aproximación al tamaño y la forma de las estructuras en estudio (57). La MG es una rama de la biología y un subcampo de la estadística la cual se encarga del estudio de la forma en un espacio bi o tridimensional, permitiendo la investigación de los cambios morfológicos tomando como base el desplazamiento de un conjunto de puntos morfométrico o landmarks a partir de una conformación consenso.

La relación espacial de las configuraciones de landmarks se conserva a lo largo de todo el análisis. La caracterización y cuantificación de la variación conformacional de los organismos y su asociación con otras variables hace parte de este campo de la investigación (17,58–62)

Los landmarks son puntos o caracteres de referencia anatómica que aportan información sobre la forma de un espécimen; en la MG se utilizan estos caracteres basados en coordenadas que corresponden a la posición de un rasgo en particular de un objeto; su nomenclatura debe tener como requisito la correspondencia u homología espacial entre las estructuras de los individuos.

Cada uno de los caracteres tienen su propia localización, estos deben ser homólogos espacialmente entre cada una de las formas de la muestra y en el promedio de todas las formas (17,62). Los datos de coordenadas pueden adquirirse ya sea en dos o tres dimensiones.

Los landmarks constituyen, los datos primarios, que entregan una matriz de coordenadas en un plano cartesiano, en donde se define una configuración determinada propia de cada individuo (62). Los landmarks se clasifican en tres tipos según su localización y forma de ser construidos (Tabla 1) (63).

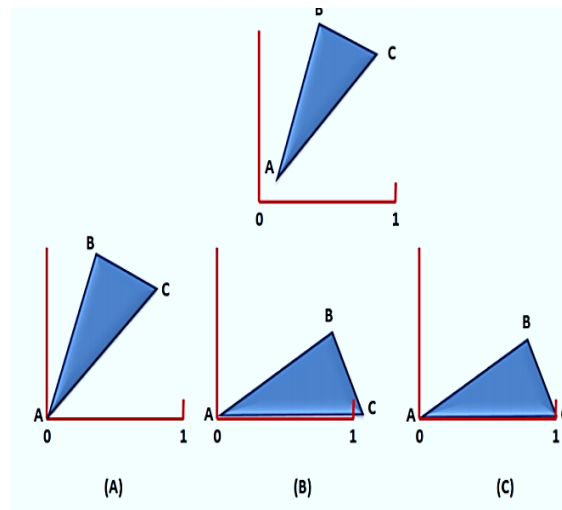
La selección de los landmarks es dependiente de tres aspectos tales como el conocimiento del investigador, la muestra disponible y el planteamiento del estudio; se recomienda la selección de landmarks tipo I cuya ubicación permite reducir la variación y facilitan la discusión e interpretación de los resultados en un marco biológico. Así mismo, no deben alterar la posición topológica relativa de otros landmarks y deben cumplir con criterios de repetibilidad (57) (Tabla 1.1).

- **Forma y tamaño**

En MG la forma de un objeto o estructura es descompuesta en tamaño y en conformación. Lo que se define como la información geométrica que permanece después que los efectos de translación, escalamiento y rotación son eliminados del objeto (Figura 1, Figura 2). Las coordenadas de estas configuraciones finales se utilizan para el análisis de las diferencias de la forma. El espacio de forma de Kendall proporciona un ajuste geométrico completo para los análisis de distancias de Procrustes entre conjuntos arbitrarios de hitos. Cada punto en este espacio de la forma, representa una configuración de puntos en algún espacio euclidiano, independientemente de su tamaño, posición y orientación. En el espacio de la forma, las dispersiones de puntos corresponden a la dispersión de

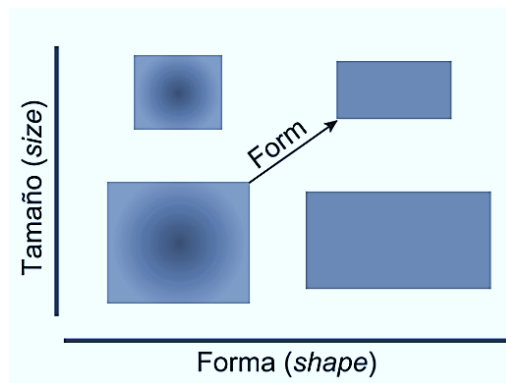
configuraciones enteras de hitos, no sólo dispersiones de hitos únicos. La mayoría de los métodos multivariados de morfometría geométrica son linealizaciones de análisis estadísticos de distancias y direcciones en este espacio subyacente(33,63–66).

Figura 1: Transformaciones que no alteran la forma





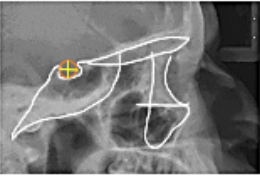
Estas transformaciones no afectan la conformación y descomponen la FORMA: (A) Traslación, (B) Rotación, (C) Escalado. Los tres landmarks A, B y C constituyen una configuración bidimensional de un triángulo. Las tres distancias inter-landmark son suficientes para describir su forma: invariante a la rotación y la traslación, pero provista de información de forma y escala total. En contraste, las variables de conformación son independientes del tamaño total de una configuración y son construidas dividiendo distancias inter-landmark por una medida de escala. Tomado del artículo de Mitteroecker P (68) y reformado por Nancy Castro (1).

Figura 2: Forma y tamaño



Representaciones del cambio en forma y tamaño entre dos objetos geométricos, un cuadrado y un rectángulo. Puede observarse como el cambio de la forma (form) es una combinación del cambio en tamaño (size) y forma (shape). Tomada de Torcida et al (63)

Tabla 1: Tipos de Landmark

Tipo de Landmark	Descripción	Ejemplo
Homólogos Landmark tipo I (a) Tradicionales (b) anatómicos (c)	Puntos que cuentan con mayor evidencia biológica de su homología la cual es común de un individuo a otro. Presentan un significado estructural, funcional, evolutivo, ontogenético, cuyo índice de precisión es alto en todos los ejes de coordenadas.	
Operacionales Landmark tipo II (a) Confusos (b) Matemáticos (c)	Puntos cuya homología sólo se sostiene con evidencia geométrica y no histológica; por ejemplo, puntos ubicados en de máxima curvatura. Se dificulta su ubicación precisa por cambios ocurridos en algunos de los ejes de coordenadas.	
Pseudolandmarks Landmark tipo III (a) Construidos (b)	Puntos que presentan al menos una coordenada ambigua; por ejemplo, los extremos de un diámetro máximo o el punto inferior de una concavidad. Estos landmarks caracterizan más de una región de la estructura, condicionando cualquier interpretación geométrica o biológica que se haga sobre ellos. Debido a su naturaleza imprecisa, Bookstein revisó en 1997 su clasificación de 1991 y denominó semilandmarks a éste último grupo (Bookstein, 1997)	

a: Bookstein (1991); b: Lele y Richstmeier (2001); c: Dryden Y Mardia (1998).

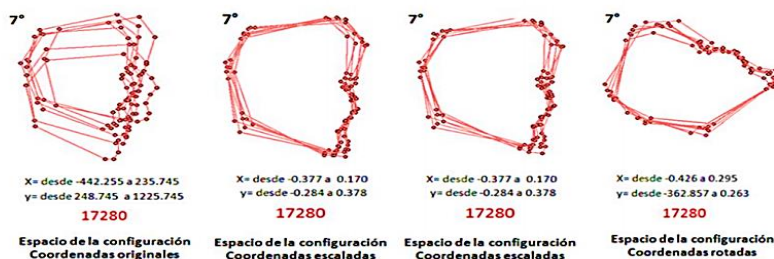
- **Estudio de la Conformación**

La conformación se define por la configuración de los landmarks, y los análisis posteriores se realizan sobre estas conformaciones completas, en la cual la estructura del objeto o un espécimen individual, se compone de k coordenadas en el espacio físico del organismo (x , y) dimensiones del espacio físico respectivas para cada uno de los p landmarks. La forma, a partir de esta configuración reduce las diferencias entre los sujetos, y respecto de la configuración de consenso, corresponde al método conocido en MG como Análisis Generalizado de Procrustes (AGP), con el que se retira de la forma los efectos de tamaño y posición. Estos se realizan en etapas sucesivas y en distintos espacios morfométrico. Los resultados finales de estos análisis son: las coordenadas de Procrustes, residuos de Procrustes y distancias de Procrustes. El resultado final del AGP es un conjunto de representaciones sintéticas de las conformaciones individuales a partir del consenso, además de medidas de error de dicho ajuste (57,63,67).

El primer espacio morfométrico es el de las configuraciones el cual presenta las coordenadas originales ubicadas en el plano de digitalización. Éste es un espacio que contiene pk dimensiones; la ubicación de cada p landmark es descrita por coordenadas. En este espacio, se llevan a cabo dos transformaciones: traslación y escala (Figura 3), Los centroides de las configuraciones son llevados a un punto común durante la traslación. Cada configuración de landmarks tiene un centro geométrico o “*centroide*”, es la medida de tamaño utilizada para escalar una configuración de puntos de referencia para que puedan representarse como un punto en el espacio de forma de Kendall. El denominador de la fórmula para la distancia de Procrustes entre dos conjuntos de configuraciones de referencia es el producto de sus tamaños de Centroide (66). (Figura 4). Después de obtenido el tamaño del centroide, las configuraciones se normalizan llevándolas a un tamaño unitario.

Una vez realizada la traslación y escala, se obtiene el segundo espacio, denominado como pre-forma, de dimensiones. Éste tiene menos dimensiones que el espacio de las configuraciones, ya que debido al escalado se resta 1 dimensión y en la traslación 2. Es sobre este segundo espacio sobre el que se realiza la rotación o la última transformación: la cual resta 1 dimensión más, generando áreas del espacio pre-Kendelliano en las que se puede rotar una configuración hasta llegar a un punto en que todas las configuraciones se encuentren lo más cerca posible de una forma consenso y, por ende, sus diferencias morfológicas estén libres de los efectos ya mencionados (1,57,67).

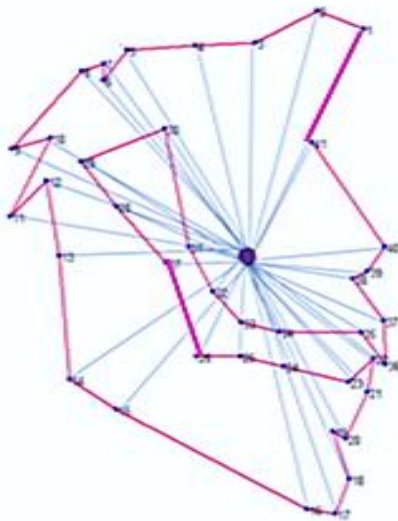
Figura 3: Transformaciones sobre coordenadas



Transformaciones realizadas a las coordenadas crudas en el espacio de la configuración (pk); traslación espacio de la preforma (pk-k); escala (pk-k-1) tomado de (1)

Los cálculos desde el primer espacio, al espacio de la forma, serían para 2D $2pK-4$: dimensiones (es decir, $pk-1$ por escala, -2 por traslación y -1 por rotación). El número de dimensiones se va a relacionar con el número de variables dependientes, o componentes de la conformación, que corresponde a los datos que van a describir las características de cada configuración (Figura 4) (1,57,67).

Figura 4: Definición de tamaño de centroide



Definición del tamaño centroide para la RCFT, donde n es el número de distancias entre cada landmark y el centroide

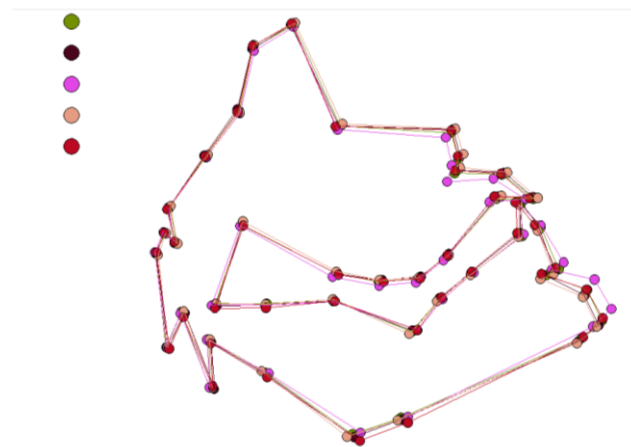
$$TC = \sqrt{d_1^2 + d_2^2 + d_3^2 \dots \dots d_n^2} = \sqrt{\sum_{j=1}^n d_j^2}$$

En el espacio Kendall o de la conformación, las configuraciones están escaladas a un tamaño fijo, lo que produce que las distancias parciales (dp) o de Procrustes sean muy grandes. Por ello se realiza en el espacio de la forma un segundo ajuste del tamaño, en el que los tamaños de centroide varían hasta que sus formas encuentran la menor distancia o distancia completa de Procrustes (dpc), con relación al consenso en este espacio matemático (68).

El punto de tangencia entre ambos espacios más usado es el de la configuración consenso, que es el conjunto de landmarks que representa la tendencia central o media de Procrustes de la muestra observada. Éste es calculado mediante la optimización del ajuste de la misma al total de la muestra. En el GPA se obtiene minimizando la suma de cuadrados de las distancias Procrustes entre la forma consenso y el resto de la muestra. (Figura 5). Con la nueva información de la conformación obtenida desde el espacio

tangente a manera de deformaciones parciales, se pueden realizar diversos análisis donde es posible aplicar métodos estadísticos inferenciales y exploratorios tradicionales (68).

Figura 5: Consenso de las maloclusiones halladas



Consensos superpuestos correspondientes a los grupos de maloclusión mostrando las diferencias conformacionales. Verde (Cluster 1- Clase I), púrpura (Cluster 2- Clase II), morado (Cluster 2- Clase III), rosado (Cluster 4- individuos con predominio Clase II), café (Cluster 5- individuos con predominio Clase I)

1.3 Fundamentos de los equipos y software utilizados

1.3.1 Equipo Radiográfico

Para este estudio en particular, es la radiografía de perfil la herramienta que permite el estudio de la conformación del complejo craneomaxilar y su relación con las alteraciones verticales y sagitales de éste, para lo cual se tomaron en un único equipo de rayos X Veraviewepocs de J Morita modelo X550, Tipo EX-1 que tiene una unidad de radiografía panorámica dental con un generador de rayos X con un aparato cefalométrico que usa la fuente de rayos X panorámica. Las consideraciones técnicas para la adquisición de las imágenes 1:1se pueden consultar en la Tesis “Modelo de identificación de Patrones del Tercio Medio Facial Clase I, II y III Esquelética: Un Análisis Morfogeométrico” de la Dra. Nancy Esperanza Castro Guevara. (1).

1.3.2 Software

Past (Box M): Prueba de Homocedasticidad, Paquete estadístico Paleontológico versión 2.06 (177); R: versión 2.12.2 15/03/11 (<http://www.statistik.tuwien.ac.at/public/filz/>) “mvoutlier” (cuantil adaptativo sobre partial warps), “mvnormtest” (Shapiro multivariado para normalidad sobre residuales partial warps) y “yacca” (análisis de correlación canónica) (1).

Tpsutil: Utilizado para la creación de archivos .tps, este archivo se crea a partir de las imágenes como archivo de texto, y en él se consignan las coordenadas (1)

TpsDig2: Se usó para la digitalización de los 41 landmarks (1).

TETWin: se utilizó para llevar a cabo una conversión de formato .tps a formato NTS, para realizar uno de los dos análisis Generalizado de Procrustes (GPA) (1).

MOG: Permite la visualización de las etapas de una superposición de Procrustes, con este análisis se obtuvieron los valores de deformaciones parciales (Partial Warps-PW) y deformaciones relativas (Relative Warps-RW) en archivos independientes, así como el tamaño de centroide (CS) (1)

PAST: Paquete estadístico Paleontológico versión 2.06; Las matrices de PW, RW y CS fueron importadas a este programa utilizando Microsoft Excel. Los individuos fueron marcados por grupo de maloclusión con un color y una convención para efectuar los análisis correspondientes (1).

PADWin: Programa elaborados por Jean Pierre Dujardin, (IRD. Montpellier, Francia) de libre distribución en internet <http://www.mpl.ird.fr/morphometrics/>. Utilizado para realizar los análisis discriminantes.

TPSRelw se utilizó para realizar un GPA y explorar gráficamente las variaciones conformacionales a través de la muestra

Varwin utilizado para realizar la prueba de repetibilidad. Programa elaborado por Jean Pierre Dujardin.

1.4 Consideraciones Éticas

La investigación se realizó en seres humanos. Se ajusta a principios científicos y éticos, y se acoge a la resolución número 008430 de 1993 de la Ley 84 de 1989, la cual clasifica este estudio como "Investigaciones con riesgo mayor que el mínimo". La información obtenida de cada individuo se mantendrá en absoluta reserva para dar cumplimiento al artículo 8 (Título II, capítulo 1) y sólo será utilizada para los fines estipulados en el estudio.

El manejo de la información resultante de este estudio también se encuentra dentro de las legislaciones nacional e internacional sobre investigaciones en el área de la salud. Se utilizaron códigos y no nombres propios, de esta forma se garantiza la confidencialidad y privacidad. Al momento de recolectar la muestra, los participantes accedieron a participar de forma voluntaria mediante la firma en el consentimiento informado escrito para adultos, además se les proporcionó una cartilla informativa. El paciente tuvo el derecho a retirarse en cualquier momento, si así lo decidía, y de conocer el resultado de los análisis. Esto con el fin de dar cumplimiento al artículo 14 de la resolución mencionada

El beneficio para el participante no será directo, respaldado en las pautas CIOMS (Consejo de Organizaciones Internacionales de las Ciencias Médicas), pauta 8. Se tuvo en cuenta también lo estipulado en el Artículo 7 de la ley 008430 de evitar cualquier riesgo o daño a los participantes de la investigación y se respetó la privacidad de los participantes según el Artículo 8 de dicha resolución.

En cuanto a los beneficios para la comunidad, estas técnicas de análisis permitirán considerar la variabilidad biológica en las maloclusiones teniendo en cuenta su prevalencia, para ser empleadas en métodos de identificación, diagnóstico y clasificación en las ciencias forenses, la ortodoncia y cirugía maxilofacial. La publicación de los resultados de este estudio se realizará en medios de calidad científica reconocidos, nacional e internacionalmente, y a través de conferencias, en los que no se revelarán datos de identificación de los individuos, así mismo se realizará la publicación de un artículo científico en una revista de alto impacto en odontología. La privacidad de los individuos pertenecientes a la muestra de estudio es confidencial y no se publicarán por ningún motivo, ni en el trabajo final, ni en el artículo producto de la investigación.

2. Materiales y Métodos

2.1 Sujetos

2.2.1 Selección y obtención de la muestra

La población de estudio para esta investigación corresponde a la misma muestra utilizada por Dra. Nancy Castro Guevara en su tesis de Maestría (1) la cual está compuesta por estudiantes admitidos a la Universidad Nacional de Colombia durante los períodos 2011–II, 2012-I y 2012-II; en total se examinaron 1500 individuos, durante los exámenes de salud oral. Inicialmente a cada individuo se le evaluó el perfil facial y la clasificación de relación molar y canina. De los 1500 estudiantes evaluados inicialmente, 617 estudiantes cumplieron los criterios de inclusión y exclusión (Tabla 2). De los 617, 272 individuos asistieron a la toma de la muestra.

Durante la revisión de grupos de clasificación dados inicialmente por la tesis de donde se obtuvo la muestra, se encontró un individuo duplicado, el cual fue excluido, otros tres individuos se excluyeron por presentar error en la digitalización y alteraciones de configuración que no permitió su análisis en TPS, constituyéndose una muestra de 269 individuos para el presente estudio, de los cuales fueron hombres ($n=139$) y mujeres ($n=130$), entre 17 a 25 años con radiografías de perfil, Toda la información de toma y clasificación podrá ser consultada en el documento de tesis “Modelo de identificación de Patrones del tercio medio Facial Clase I, II y III Esquelética: Un Análisis Morfogeométrico”, la cual es consultable en el Repositorio de la Universidad Nacional de Colombia (1).

2.1.2 Toma de las Radiografías

Para el estudio fueron utilizadas radiografías perfil, las cuales fueron obtenidas con una distancia estándar de sujeto a película de 15 cm y de cono a película de 150 cm. El equipo operó a 80 kw, 3mA y 4s, por radiografía. Las radiografías se tomaron con posición natural

de cabeza (PNC) (69,70), y oclusión habitual. Se utilizó testigo métrico, para obtener imágenes 100% (1:1).

Tabla 2: Criterios de inclusión y exclusión utilizados cuando se realizó la selección de la muestra

Criterios de inclusión	Criterios de Exclusión
Individuos de ambos sexos entre 17 y 25 años	Intervención con rehabilitación oral en el sector anterior o posterior
Pacientes con maloclusiones Clase I, II y III	Tratamiento previo de ortodoncia u ortopedia
Ausencia de enfermedades sistémicas	Hábitos parafuncionales severos
Dentición permanente con o sin terceros molares	Anomalías congénitas o adquiridas
También fueron excluidos del estudio pacientes que no tenían los exámenes completos	

2.1.3 Clasificación de la muestra

Esta muestra fue clasificada inicialmente según sus relaciones esqueléticas y en dos fases, proceso realizado para la tesis de la Dra. Nancy Castro Guevara (1), mediante el método de Metronukak, desarrollado por el centro de Telemedicina de la Universidad Nacional de Colombia (18). En la primera fase de clasificación se utilizaron, los ángulos SNA, SNB, ANB MAXILO-MANDIBULAR, INCISO-MAXILAR e IMPA, para obtener una muestra balanceada y conseguir un número similar de individuos por grupo de maloclusión, (Tabla 3) (7,71,72). La muestra fue distribuida en los tres grupos de maloclusión, además, se obtuvo información sobre los patrones esqueléticos y presencia de compensaciones dentales (Tabla 4) (1).

Tabla 3: Clasificación esquelética según ángulo ANB

Clasificación	Valores limites		
	Clase I	Clase II	Clase III
Angulo ANB	0,4°	≥4	≤0

En la segunda fase de clasificación se tomaron como base las distancias angulares y lineales por medio del método Matlab (73), para ello utilizaron cuatro de los landmarks seleccionados para el análisis de MG: S, N, A y B; la información fue consignada en un archivo de texto con extensión .TPS, y la usaron para crear una base de datos en el programa Microsoft Excel, que se transformó con la extensión csv, y fue cargada en el programa Matlab el cual une las coordenadas entre sí para crear medidas lineales y angulares (1).

Tabla 4: Distribución inicial de la muestra por grupos de maloclusión (Metronukak)

	CLASE I	CLASE II	CLASE III	TOTAL
HOMBRES	60	34	46	140
MUJERES	56	40	36	132
TOTAL	116	74	82	272

Una vez realizado el análisis, los ángulos fueron nominados de la siguiente forma: N-S-A-1, N-S-A-2, N-S-A-3; N-S-B-1, N-S-B-2, N-S-B-3; N-A-B-1, N-A-B-2, N-A-B-3; S-A-B-1, S-A-B-2, S-A-B-3, correspondientes al ángulo NSA, SNA y ANS para el primer grupo, conformándose de esta forma un triángulo por cada triada. Para realizar la clasificación definitiva se tuvo en cuenta el ángulo ANB (N-A-B-1) cuya medida fue transformada de radianes a grados; también así se realizó la resta matemática entre los ángulos SNA y SNB, para establecer el valor positivo o negativo de este ángulo. Un total de 47 pacientes cambiaron de clasificación (17.21%). Los pacientes fueron distribuidos de acuerdo al ángulo ANB obtenido por el método Matlab, clasificación que se conservó para la realización del presente estudio y fue ella la base para lograr los objetivos planteados (1) (Tabla 5).

Tabla 5: Clasificación definitiva de la muestra

	CLASE I	CLASE II	CLASE III	TOTAL
HOMBRES	56	41	42	139
MUJERES	51	39	40	130
TOTAL	107	80	82	269

2.1.4 Selección de variables

Para elegir las variables, se determinaron 41 puntos cefalométricos humanos convencionales de radiografías de perfil, con aplicaciones ortodóncicas y antropológicas (27,36,74,75). Se realizó un instructivo con la descripción y diagramación de cada landmark para mejorar la precisión en su ubicación durante el procedimiento de la digitalización (Anexo 1).

2.2 Método

Los diferentes análisis, tanto estadísticos como de MG, realizados en esta investigación, fueron organizados con base en los dos objetivos específicos, con el fin de dar respuesta a la pregunta de investigación planteada inicialmente. Para identificar las diferencias conformacionales de las discrepancias verticales y sagitales en relaciones esqueléticas Clase I, II, y III., se realizó la evaluación morfológica de tamaño y conformación de la Región Craneofacial Total (*RCFT*) ubicando puntos antropométricos en la base de cráneo, tercio medio e inferior, (anexo 2) en radiografías de perfil, utilizando para ello MG 2D basada en landmarks.

2.2.1 Análisis MG –Landmarks

Mediante la aplicación de la estadística multivariada de la variación morfológica y sus asociaciones (1) se puede estudiar la forma de los componentes craneofaciales a través de la relación espacial de sus partes, y no en términos de sus dimensiones. La recuperación de la información relativa a la geometría de los objetos que permite la visualización de los cambios morfológicos, hace de este método uno de los más utilizados en la actualidad. La geometría de las estructuras craneofaciales puede capturarse de dos formas, como landmarks o contornos, que requieren distintos métodos de análisis que se desarrollan siguiendo básicamente tres pasos: 1. Obtención de los datos. 2. Obtención de la información que describe la conformación. 3. Análisis exploratorios e inferenciales covariación de la conformación con factores causales.

2.2.2 Obtención de los datos

Los datos utilizados para este análisis corresponden a un conjunto de landmarks representativos de la base de cráneo, el tercio medio y el tercio (Figura 6,). El conjunto de coordenadas corresponde a los datos primarios que son sometidos a análisis. Para la definición del conjunto de landmarks de cada conformación se tuvieron en cuenta criterios de *Homología*, *Consistencia en la posición relativa*, *Cobertura adecuada de la forma*, y *Repetibilidad* (anexo 1). En esta investigación se utilizaron landmarks tipo I, II y III (Tabla 6) (57,76).

Tabla 6: Tipos de landmarks utilizados en la definición de las conformaciones.
Radiografía de Perfil

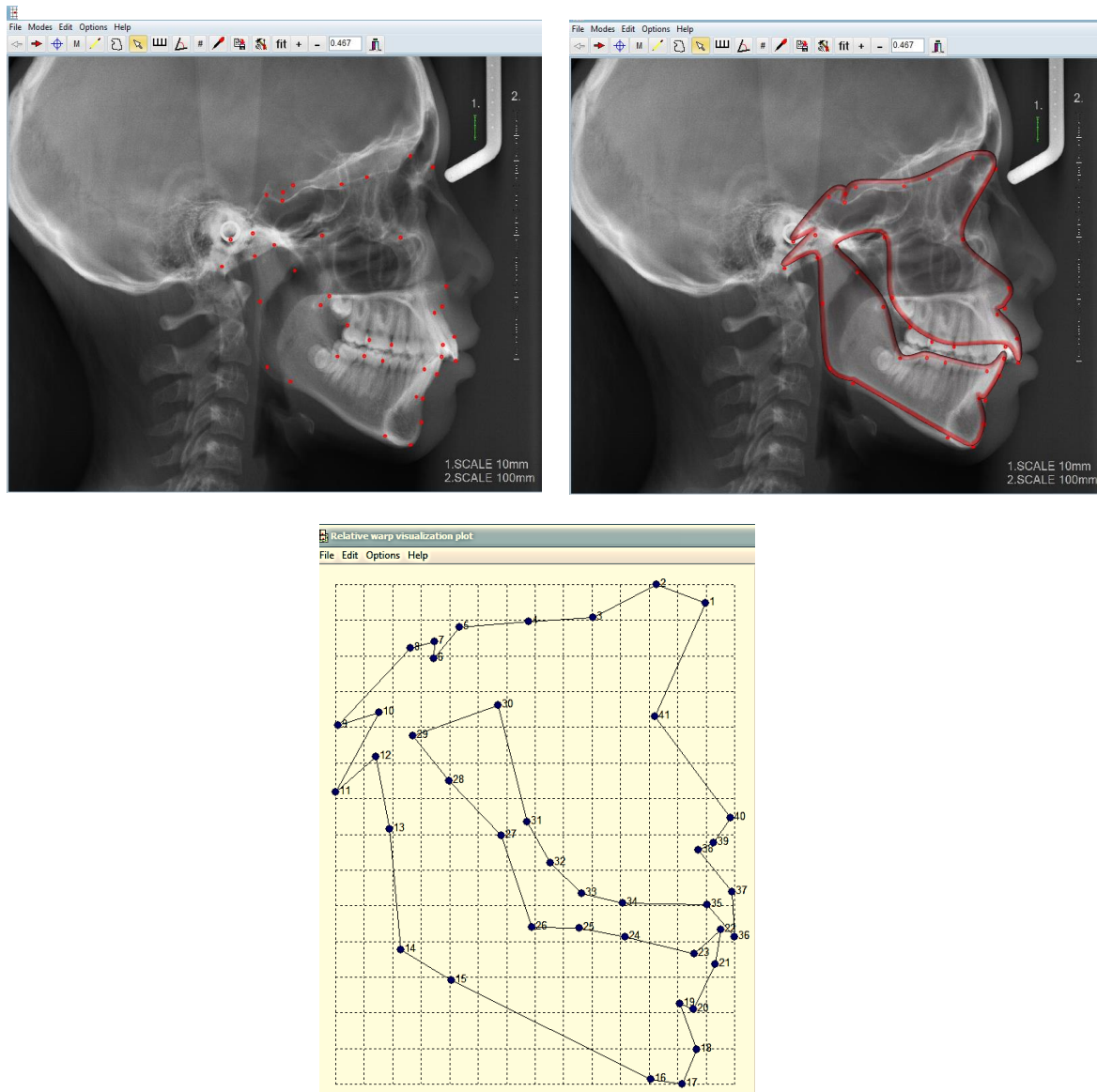
Tipo de landmark	Nombre
I	Nasion, temporal, esfenotmoidal, articular posterior, mentón, apical incisivo superior e inferior, incisal incisivo superior e inferior, mesial y distal molar superior e inferior, Postalverion inferior y superior, ENA, ENP, articular posterior, Prosthion vestibular y lingual superior e inferior
II	Supraorbitario, apófisis Clinoides anterior y posterior, piso de silla, Basion, Condilion, Rama 1, Rama 2, Rama 3, Rama 4, Gnation, Punto B, punto A, Porion, pterigomaxilar, orbital
III	Silla, goniaco, pogonion

- **Obtención de la información de la conformación**

La conformación de la RCFT sometida a estudio se definió por la configuración de sus landmarks, además se realizaron análisis posteriores sobre dichas conformaciones. Los landmarks, fueron digitalizados en el software TpsDig2. A partir de los datos obtenidos, se crearon los archivos TPS para cada configuración de landmark correspondiente a la RCFT por medio del software TpsUtil2. Dichos archivos fueron creados a partir de las imágenes como archivo de texto en los cuales se consignaron las coordenadas. Para la aplicación de los procedimientos estándar de la MG (AGP y TPS), los archivos TPS fueron convertidos a formato NTS. El primer AGP se realizó con el software MOGwin, con el cual se obtuvieron los valores de deformaciones parciales (Partial Warps-PW) y deformaciones

relativas (Relative Warps RW) en archivos independientes, así como el Tamaño de Centroide (CS).

Figura 6: Configuración de Landmarks para RCFT

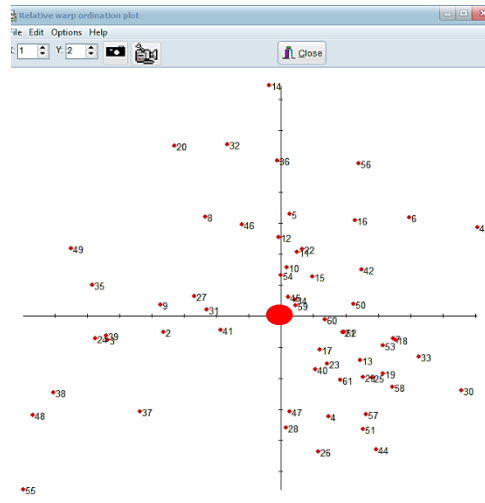


- **Visualización de los cambios morfológicos**

Después de realizada la superposición de las configuraciones de landmarks, cada individuo fue representado como un punto en un espacio curvo, no Euclidiano, el cual se llamó espacio de la forma o de Kendall. La distancia entre estos puntos en dicho espacio se denomina distancia de Procrustes. Se formaron las matrices de morfocoordenadas de

acuerdo con ésta distancia en que los diferentes individuos se ubicaron respecto del consenso, situado en el centro del bivariado en este espacio (Figura 7).

Figura 7: Representación del bivariado



Representación del bivariado en donde se observa la distribución de los individuos en al rededor del consenso (punto rojo en la intersección de X y Y)

Por las propiedades matemáticas que presenta el espacio de Kendall, los análisis estadísticos multivariados convencionales no pueden llevarse a cabo en él, por lo tanto, se realizó una aproximación de este espacio de las formas a un espacio tangente que presente una geometría Euclídea, quedando estas matrices ordenadas en un plano bidimensional. En este nuevo espacio se proyectaron los individuos que se encontraban en el espacio de Kendall. El punto de tangencia se ubicó en la configuración de consenso (57) Para visualizar este espacio tangente, se utilizó el algoritmo Thin plate spline TPS, basado en el estudio de la deformación de “finas láminas metálicas” sobre las deformaciones de las formas biológicas (76).

Para poderse llevar a cabo lo anterior, se crea y se minimiza la energía de torsión necesaria de deformación que debe generar la lámina para transformarse desde el consenso hasta cada uno de los individuos de la muestra (bending energy matrix); y después de una serie de transformaciones a partir del cálculo de esta matriz, cuyo objetivo fue dar una base ortogonal para la descripción de las diferencias de la configuración en el espacio tangente (principal warps) y representar las modificaciones de la forma de cada individuo respecto a la configuración consenso (weight matrix), se elaboró un análisis de componentes

principales de la distribución de las configuraciones en este espacio tangente (relative warps). Así, fue posible observar la variación de un individuo a otro como un continuo, lo que se conoce en la literatura anglosajona como Morphing. Para la exploración gráfica de las variaciones conformacionales de la RCFT a través de la muestra, se utilizó el software TPSRelw (77).

1.1.1 Análisis Estadístico de MG Landmarks:

Todas las pruebas estadísticas fueron reportadas considerando un error tipo I α del 5%

2.2.3 Medición del error intraobservador

El software Tpsdig2 fue utilizado para digitalizar los 41 landmarks craneofaciales del 12% de la muestra correspondiente a 32 individuos seleccionados aleatoriamente del conjunto total de la muestra un solo investigador (Jesús Andrés Elorza Durán),

Para la medición del error intraobservador se realizó un análisis de repetibilidad sobre la matriz de coordenadas alineadas, método fundamentado en la medida de dispersión extraída de la prueba F (ANOVA) de dos vías (78). La precisión en la digitalización de los puntos de referencia se computó como R-1, con R correspondiente a las dos mediciones repetidas de los mismos puntos sobre las 32 imágenes. R provee una proporción de la varianza entre mediciones, individuos y la varianza total (79).

Las pruebas de repetibilidad se llevaron a cabo mediante el programa Varwin elaborado por Jean Pierre Dujardin (IRD.Monpellier, Francia) de libre distribución en internet Uhttp://www.mpl.ird.fr./morphometrics/U.

2.2.4 Análisis del tamaño y la conformación

Se realizaron las pruebas de Shapiro – Wilks Multivariada y Caja de M para el análisis de los datos de conformación, distribución de normalidad y homocedasticidad de la muestra respectivamente.

La caja de M (Box's M test) es una prueba especializada de equivalencia de las matrices de covarianza para dos conjuntos de datos multivariantes. La estadística para ésta es dada junto con un valor de significación sobre la base de una aproximación χ^2 ; es una prueba

muy sensible, lo que significa que un alto valor de p será un buen indicador, aunque informal de la igualdad, mientras que un resultado altamente significativo (valor de p menor) puede en la práctica ser indicador de desigualdad. Las hipótesis a probar: H_0 : homogeneidad de las matrices; H_1 : No homogeneidad de las matrices. (80). En la comparación de del tamaño de las estructuras entre los grupos de maloclusión, se usó el estimador isométrico tamaño centroide (CS), el cual se deriva de las coordenadas de datos.

También se usó Box Plot en la exploración de CS en los cinco Clúster correspondientes a la clasificación de las maloclusiones clasificados en un estudio previo (1), y se evaluó estadísticamente con la prueba de Kruskal-Wallis, en el programa PAST (80) y la variación de la conformación fue evaluada mediante un análisis multivariado, una MANOVA no paramétrica bajo la hipótesis nula, que no hay diferencias significativas entre los vectores de las medias de cada grupo de maloclusión en plano sagital y vertical; esto permitió evaluar diferencias entre grupos a través de las estructuras. Dicha hipótesis fue evaluada por pares de los cinco Clúster clasificados en un estudio previo (1) correspondientes a grupos.

2.2.5 Análisis discriminante

Para conocer las posibles separaciones morfológicas entre los grupos estudiados, se aplicó un análisis discriminante el cual plantea dos objetivos principales: el primero de carácter descriptivo, es la separación o discriminación de grupos, y trata de encontrar las diferencias entre los cinco grupos de maloclusión a través de una función discriminante, que compara estos grupos con relación a sus centroides estadísticos, utilizando las DM; el segundo objetivo es clasificar, y corresponde a la asignación de un individuo teniendo en cuenta sus características conformacionales en uno de los cinco grupos de maloclusión previamente definidos (81). La significancia estadística de las Distancias de Mahalanobis (DM) fue calculada durante el análisis discriminante y computadas mediante pruebas de permutación no paramétricas. En cada análisis se utilizaron 1000 permutaciones para probar si las DM de los grupos asignados inicialmente en los análisis de las Deformaciones Relativas eran producto del azar. A esta prueba se aplicó la corrección de Bonferroni.

Las DM son apropiadas para estudiar la variación morfológica, ya que toman las tendencias de los datos que pueden estar relacionados con los fenómenos biológicos

asociados a los cambios conformacionales. Mediante estas distancias se reconoce qué tan alejada está cada conformación de la media de su grupo.

Por medio de la función discriminante se estableció que la RCFT presenta características específicas para cada maloclusión. Los análisis siguientes se realizaron sobre esta región craneofacial.

2.2.6 Región Craneofacial Total (RCFT)

Sobre la matriz de PW correspondiente a la estructura RCFT se realizó un PCA. Cada componente principal (CP) contiene una parte de la variabilidad total de los caracteres. Siendo el primer CP el que posee la mayor variabilidad y el resto de variabilidad es distribuida de forma decreciente entre los siguientes componentes. Cada componente posee información de todos los caracteres, pero en diferentes proporciones. Estos componentes son ortogonales entre sí, por ende, no están correlacionados. La sumatoria de las varianzas de todos los caracteres para un componente representa el valor propio, el cual deberá tener un valor mayor para el primer componente, decreciendo hasta el último (1).

Se emplearon dos criterios diferentes los cuales sirvieron como indicativos del número de componentes a utilizar. El primero fue el método Broken Stick, por el que se consideran significativos los componentes cuyos valores propios superan valores generados aleatoriamente, y segundo es el Jolliffe Cut-Off mediante el cual son retenidos aquellos componentes cuyas varianzas son mayores a un porcentaje determinado arbitrariamente (en este caso 80%) del promedio de los valores propios (82,83). El diagrama de valores propios orienta la decisión del número de ejes que se utilizan en la clasificación (84,81).

Mediante el análisis de conglomerados se obtuvieron los nuevos grupos los cuales, fueron sometidos a análisis discriminante. Se establecieron las DM entre los centroides estadísticos de los Clústers obtenidos y se realizó el análisis de permutaciones y chequeo cruzado para evaluar el poder de clasificación de estas nuevas asignaciones.

Mediante la función TPS, con el programa TPSRelw se realizó la visualización y análisis de los cambios morfológicos al interior de cada Clúster. En un Análisis de Deformaciones Relativas, los coeficientes no tienen alta correlación con las variables originales y hay

polaridad (es decir, pueden tener diferente signo); además, el primer componente principal no da cuenta del tamaño(1).

2.2.7 Análisis MG –Landmarks- para clasificación de nuevos individuos

Con el fin de clasificar nuevos individuos dentro de los grupos establecidos para dentro de los uno de los cinco Clúster de maloclusiones esqueléticas, se realizó la evaluación morfológica de la conformación de la: RCFT (Figura 2.1) en cuatro nuevos individuos a los cuales se les realizó una clasificación previa utilizando el ángulo ANB. Se utilizó MG 2D basada en landmarks clasificando mediante la Función Discriminante, la cual se basó en DM (1). Se mostró la correspondencia del nuevo individuo con los grupos de maloclusión I, II y III.

3. Resultados

Los resultados de esta investigación reportan la caracterización en tamaño y conformación hallados en cada una de las maloclusiones las cuales fueron clasificadas en 5 Clústers, clase I, II y III, predominio clase II y predominio clase I. Se realizó la prueba de Krustall-Wallis para determinar diferencias en el tamaño centroide (Cs), en las cinco maloclusiones; no se reportaron diferencias significativas ($p > 0.5$). El análisis discriminante determinó que esta conformación responde de manera global al tipo de maloclusión que se encontró previamente.

3.1 Morfometría Geométrica

3.1.1 Repetibilidad

El análisis de repetibilidad determinó una variación máxima debido a la digitalización (error del observador) inferior al 11,89% en la coordenada *X del landmark 30 (pterigomaxilar)* y 17,77% en la coordenada *Y para el landmark 5 (apófisis Clinoides Anterior)*, ($p < 0.05$), siendo estos el puntos, en dichas coordenadas los de mayor error de localización. Por lo anterior, estos *landmarks* fueron tratados como *sliders* en el AGP (Tabla 7)

3.1.2 Detección de Datos Atípicos

La detección de datos atípicos se realizó en los cinco clúster resultantes de las maloclusiones estudiadas en radiografías de perfil. La distribución de la muestra en los cuantiles adaptados se puede observar en la Figura 8, 9, 10 a y 10 b, 11. Se aplicó el estimador determinante mínimo de covarianza (MCD) a las Distancias de Mahalanobis (DM) para calcular la distancia robusta de Mahalanobis (RD2).

Tabla 7: Reporte de repetibilidad

LM	X coordenada	Y coordenada
1	0.994977	0.988890
2	0.994195	0.988977
3	0.993109	0.992052
4	0.975053	0.984908
5	0.966443	0.822241*
6	0.970763	0.983314
7	0.957992	0.976197
8	0.981130	0.990967
9	0.991274	0.988656
10	0.895373	0.955696
11	0.978597	0.967299
12	0.993368	0.983206
13	0.983269	0.981264
14	0.951905	0.993828
15	0.958564	0.990346
16	0.988379	0.993165
17	0.998179	0.992389
18	0.988897	0.992843
19	0.989848	0.944545
20	0.982889	0.957276
21	0.985654	0.978158

LM	X coordenada	Y coordenada
22	0.992148	0.983825
23	0.977063	0.961139
24	0.987890	0.970631
25	0.987441	0.979422
26	0.982796	0.986139
27	0.983265	0.949205
28	0.945054	0.815139
29	0.979606	0.962530
30	0.881072*	0.922718
31	0.980814	0.968206
32	0.990622	0.980443
33	0.993703	0.983401
34	0.968371	0.964251
35	0.975653	0.984568
36	0.992797	0.987672
37	0.968973	0.990723
38	0.983251	0.992720
39	0.982919	0.982470
40	0.990301	0.993300
41	0.994797	0.992777

En la Figura 8, se muestra detalladamente cómo opera el método del cuantil adaptativo para la detección de datos atípicos. En el Plot se observa la función de distribución empírica de las RD2 ordenadas (puntos verdes) y la función de distribución teórica de (línea oscura del centro)

Figura 8: Detección de datos atípicos por el método de cuantil adaptativo en región craneofacial total (RCFT) Figuras: a), b), c) y d)

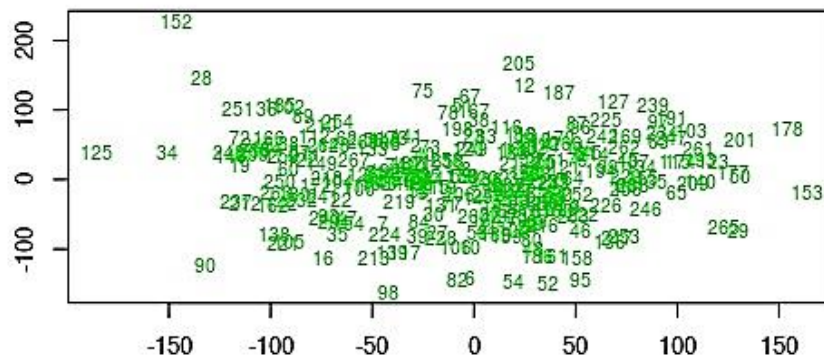
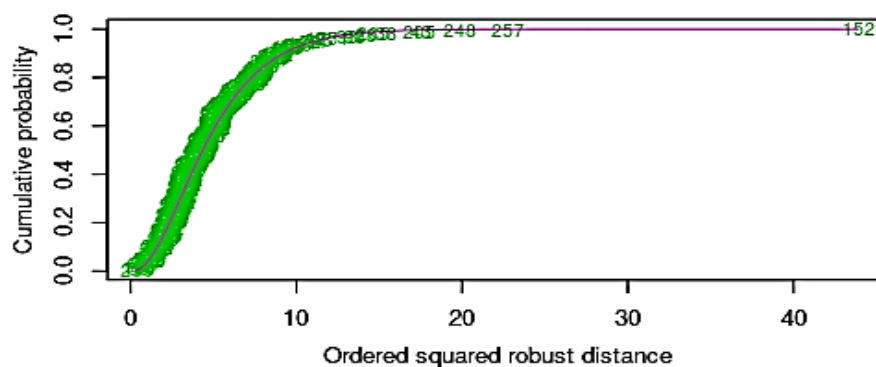
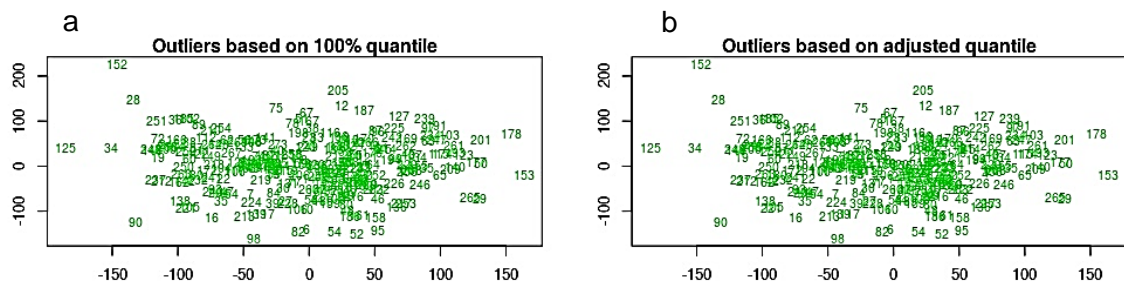


Figura 9: Distribución empírica y teórica de RD2



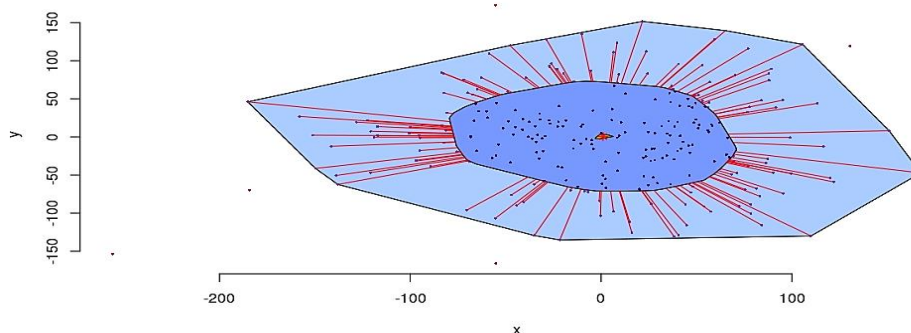
La figura 10a no muestra individuos detectados como datos atípicos que deberían aparecer en rojo en la distribución total. En la figura 10b, tampoco se muestran individuos atípicos con el método de Cuantil adaptativo.

Figura 10: Distribución empírica y teórica de RD2 en región craneofacial total (RCFT)



Según los hallazgos, no se encontraron datos estadísticamente atípicos en la región craneofacial total (RCFT) evaluada correspondiente.

Figura 11: Distribución empírica y teórica de RD2



Grafica 1: Diferencia de tamaño centroide entre grupos de maloclusión

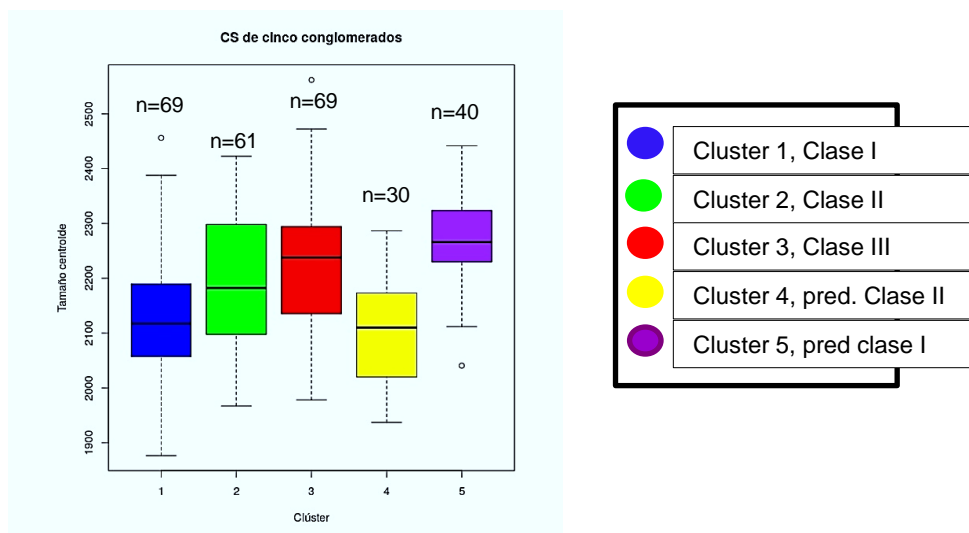


Diagrama de cajas y bigotes de CS. La mediana del grupo III fue mayor y su dispersión en este mismo grupo para la vista lateral fue más alta en el cuartil superior pero no fue significativa.

3.1.3 Análisis de tamaño

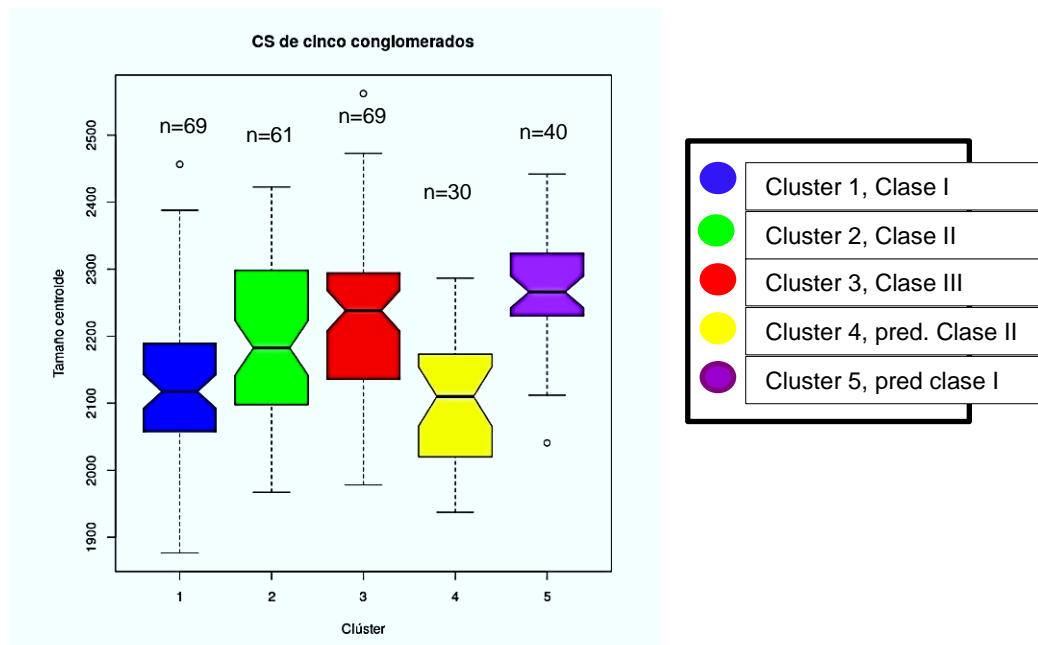
Se realizó la comparación de tamaño de los cinco clúster identificados (Grafica 1), mediante la exploración de CS, por medio de box Plot. A pesar que, geométricamente la representación de los Clúster 1, 2 y 3 es similar, se observó que la mediana del grupo

Clase III fue mayor que la del grupo Clase I y II, mostrando diferencias significativa entre los grupos de maloclusión.

Se puede observar como el Cluster 1 (azul, Clase I, n=69) presenta mayor balance con dispersión más amplia, lo que significa que el rango de valores que puede tomar es mayor; el bigote inferior y superior presentaron mayor distancia hasta la caja, comparado con los otros dos grupos, y mostró una distribución más dispersa de CS en este 25% inferior y superior, diferente a lo encontrado en el Cluster 2 (verde, Clase II, n=61) que presentó mayor dispersión en el 25% superior, y en el Cluster 3 (rojo, Clase III, n=69) cuya dispersión del CS fue mayor en el 25% inferior (Gráfica 1). También es evidente el gradiente de tamaño de la caja siendo menor el del Cluster 1 y mayor el del Clúster 3.

El rango intercuartílico, fue diferente para los tres grupos dado que el tamaño de las tres cajas. Con respecto a las distancias intercuartílicos, el Cluster 3 (clase III) mostró la mayor dispersión de la muestra, ubicada entre el 25% y el 50% (cuartil 1 y 2), comparada con la ubicada entre el 50% y el 75% (cuartil 2 y 3), ocurriendo lo contrario en la clase II, mientras que en la clase I se puede observar menos dispersión en la muestra (Grafica 1).

Grafica 2: Box Plot con cinturas para diferencia de tamaño centroide entre grupos de maloclusión



Durante el análisis se evidenció un clúster 4, el cual se dividió en dos grupos (amarillo y púrpura), que, para efectos descriptivos se nominaron como clúster 4 y 5 respectivamente; el clúster 4 (amarillo, predominio clase II, $n=30$) está dominado por individuos de clase II cuyo CS presenta un tamaño muy inferior al de los demás grupos, y tiene rangos intercuartílicos menores que los clúster 1,2,3 y 5, mientras que el clúster 5 (púrpura, predominio clase I, $n=40$) está dominado por individuos de clase I y su CS está representado con un tamaño significativamente mayor al de los demás y también presenta rangos intercuartílicos reducidos (Grafica 1).

El gráfico de cajas y bigotes con muestra el solapamiento de la cintura con cualquiera de los dos elementos de la caja cuando no se observan diferencias significativas. Por tanto, en los grupos analizados se pueden observar diferencias estadísticamente significativas entre los individuos del clúster 3, que en términos de tamaño indica que estos presentan un tamaño mayor al de los individuos del clúster 1 y 2. Mientras que los individuos del clúster 5 son de menor tamaño y se observan diferencias significativas entre estos y los individuos de los demás clústers (Grafica 2).

La significancia estadística se verificó con el análisis de Kruskal-Wallis, donde se encontraron diferencias significativas entre el CS de las maloclusiones (Tabla 8).

El tamaño permite explorar o inferir diferencias y en este caso particular, evaluar si existen diferencias estadísticamente significativas entre el tamaño de los diferentes clústers lo cual se evidencio mediante la prueba de hipótesis que indicó que la media de cada uno de los grupos fue diferente a la de los otros.

Tabla 8: Reporte análisis de Kruskal-Wallis para evaluación por pares de diferencias en tamaño de centroide

Grupo	Clase I	Clase II	Clase III	Pred clase II	Pred clase I
Clase I		0.005507	3.388	0.2395	8.294
Clase II	0,05507		0.2045	0.001102	0.002223
Clase III	3,388	1		4,328	0,0401
Pred Clase II	1	0.01102	4,328		1.357
Pred Clase I	8.29	0.02223	0.401	1.357	

3.1.4 Análisis de la Conformación

La varianza permitió establecer la dispersión de los datos alrededor de la media (una varianza múltiple alrededor de vectores de medias). En los grupos analizados las varianzas no son homogéneas, según la prueba de Box's M, la cual mostro un valor de $p = 0,0317$, rechazando la hipótesis nula de homogeneidad en las varianzas.

3.1.5 Análisis Discriminante

Las diferencias conformacionales entre los cinco grupos de maloclusión se identificaron a través de una función discriminante, mediante la cual se compararon los cinco grupos con relación a los centroides estadísticos. Se establecieron las DM entre los centroides entre cada grupo y se encontraron distancias menores entre el grupo de Clase I y Clase II y distancias significativamente mayores entre el grupo de Clase II y el Cluster 4 el cual está dominado por individuos de clase I (Tabla 9).

Tabla 9: Distancias de Mahalanobis medidas entre los centroides estadísticos en los cinco Clústers

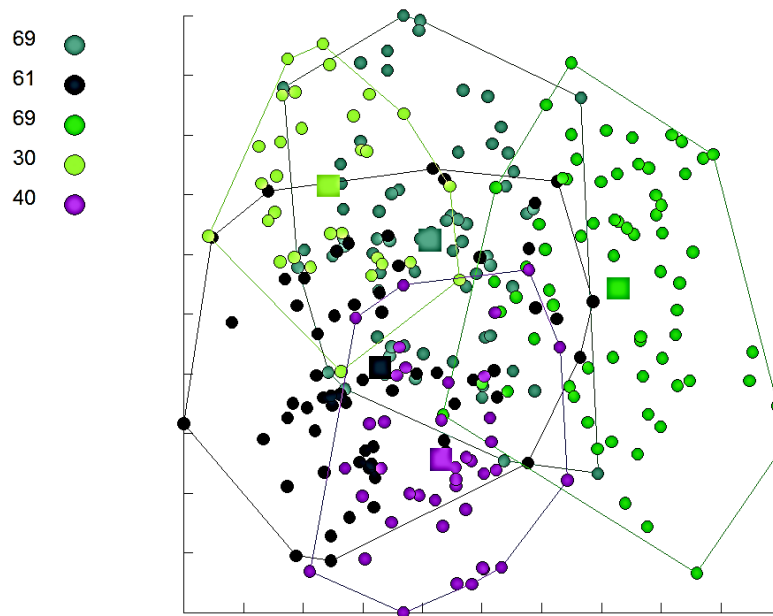
Grupo	2	3	4	5
1	2.03	2.85	2.48	2.48
2		3.44	2.64	2.31
3			4.21	3.16
4				3.31
5				

Las distancias mayores observadas entre los grupos 3 y 4 (4.21) y 4 y 5 (3.31), permite deducir que estos grupos difieren considerablemente en su conformación, mientras que el grupo 1 y 2 presentan una distancia de 1.44, menor que las descritas para los demás grupos, representando una similitud más cercana en la conformación de las estructuras.

3.1.6 Clasificación de individuos

Se realizó la reclasificación con los individuos del análisis discriminante pertenecientes a los grupos hallados; Éste reporte corresponde a la asignación de un individuo en uno de los cinco grupos de maloclusión previamente definidos, teniendo en cuenta las características conformacionales de las cinco maloclusiones analizadas, se realizó análisis de Permutaciones ($n=1000$), basados en las DM. La maloclusión clase I y III presentaron los valores más bajos de reclasificación con porcentajes de 56% y 55% respectivamente, sin embargo, estos valores indican que 39 individuos de 69 en Clase I fueron correctamente clasificados, mientras que para clase III 38 de 69 fueron clasificados correctamente. Lo mismo sucede para los demás grupos, los cuales mostraron valores similares, excepto para los individuos del grupo 5 el cual presentó un poder de clasificación del 80% mostrando que 32 individuos de 40 fueron correctamente clasificados (Tabla 10).

Figura 12: Distribución de los grupos de maloclusión por conformación de la RCFT



La figura 12 muestra el análisis de componentes principales en el cual el componente 1 es el eje X y el componente 2 es el eje Y. el componente 1 aporta cerca del 35% de la varianza mientras que el eje Y aporta cerca del 27% para un total de 63% de la varianza. Se puede observar los individuos de cada Cluster y su comportamiento en desacuerdo con

su distribución en el plano. Se identifica un tercer componente principal (eje Z) en graficas tridimensionales las cuales en se describe hasta un 87% de la varianza explicada; cada elipse representa un Cluster y corresponde aproximadamente al 95% de distribución de cada uno de los grupos (Figura 13, Figura 14)

Figura 13: Distribución de los grupos de maloclusión por conformación de la RCFT

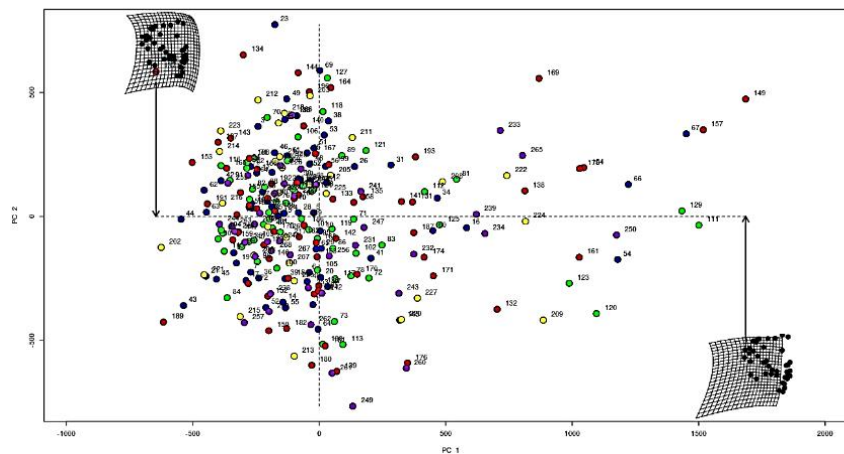
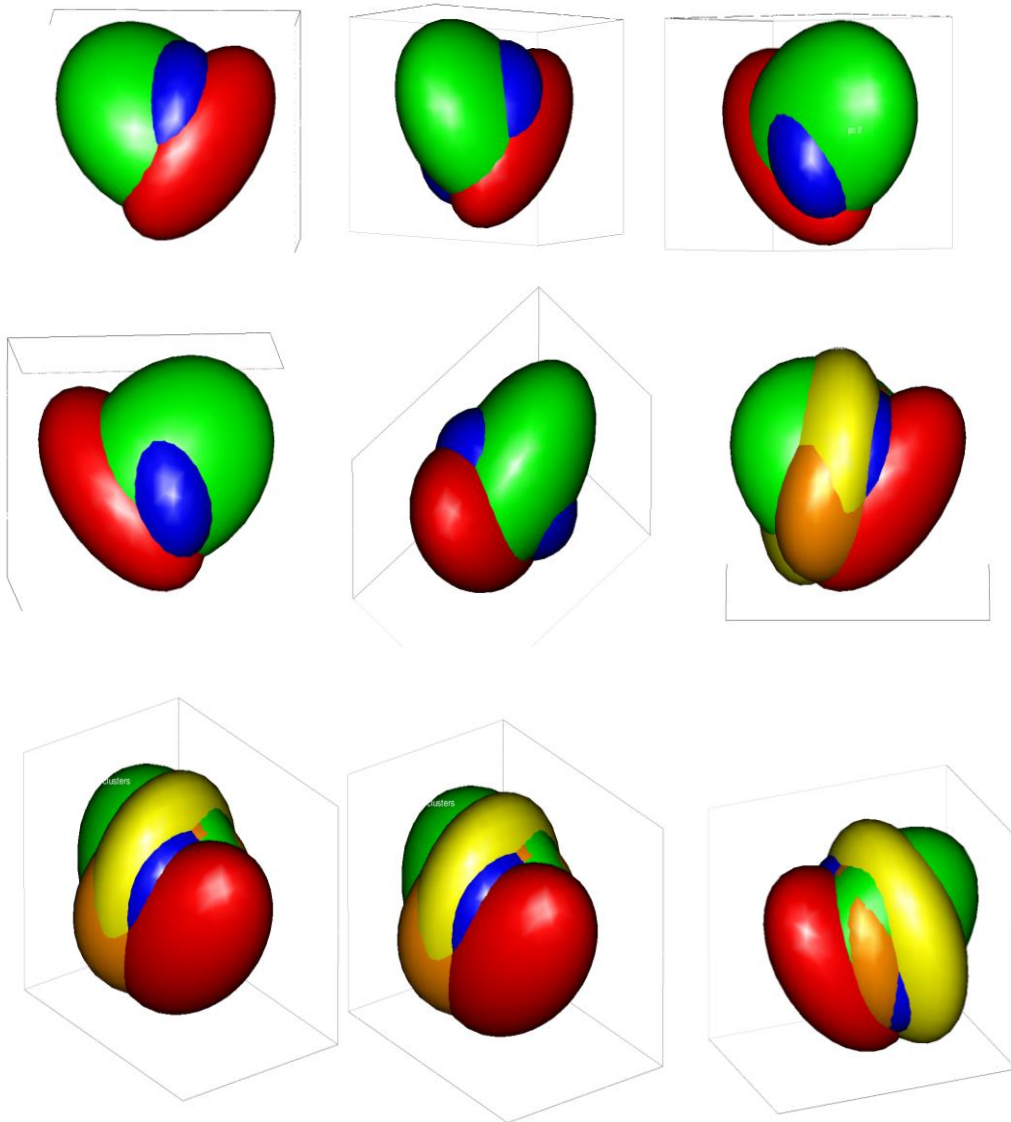


Tabla 10: Clasificación por permutaciones

Vista lateral		
Grupo	N° de individuos permutaciones	Porcentaje de clasificación
Cluster 1	39 / 69	56%
Cluster 2	37 / 61	60%
Cluster 3	38 / 69	55%
Cluster 4	15 / 30	50%
Cluster 5	32 / 40	80%

Figura 14: Distribución de la varianza en tres planos del espacio

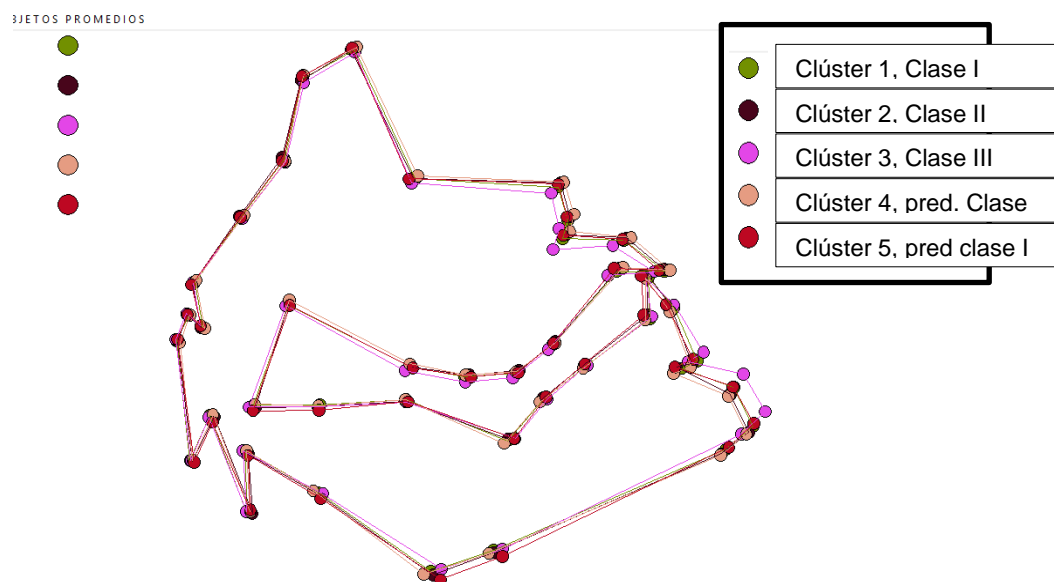
Gráficas tridimensionales: se describe hasta un 87% de la varianza. Cada elipse representa un Cluster: (azul- Cluster 1- clase I), (verde-Cluster 2- clase II), (rojo-Cluster 3- clase III), (amarillo- Cluster 4- predominio clase II), (naranja- Cluster 5- predominio clase I) y corresponde aproximadamente al 95% de distribución de cada uno de los grupos

3.1.7 Exploración gráfica para RCFT

El análisis y visualización de los cambios morfológicos de los grupos de maloclusión en estudio se llevó a cabo mediante Análisis de Deformaciones Relativas (Relative warps), el cual se realizó sobre los consensos de cada grupo, para poder identificar las tendencias de los datos.

Se entiende por consenso a las configuraciones de referencia que resumen la conformación para cada grupo de maloclusión, obtenidos con el programa tpsRelw. Al realizar la superposición de los consensos de cada Cluster se encontró el tercio medio facial más retrusivo y el tercio inferior más protrusivo en el Clúster 3, conformado por individuos de clase III mientras que en los individuos del Clúster 2 se observó lo contrario; los individuos del Cluster 1, constituido por individuos Clase I, mostró un equilibrio en el entre las estructuras. El comportamiento de la base craneal fue similar en todos los clústers. Puede observarse también un solapamiento entre los consensos de la base craneal posterior sin embargo se observa una ligera separación de estas en la base craneal anterior mostrando mayor flexión hacia coronal en los individuos de los Clúster 2 y 3 correspondientes a clase II y III respectivamente (Figura 15).

Figura 15: Consensos de los cuatro Grupos de maloclusión,



El comportamiento general de las maloclusiones estudiadas muestra detalles de las variaciones de conformación en las deformaciones de la rejilla las cuales pueden apreciarse en la función TPS.

Los cambios morfológicos fueron analizados en cada uno de los Clúster; al realizar los diagramas de dispersión asociado en la rejilla TPS. Para el Clúster 1 (Clase I), se exploró la variación de la conformación dentro del grupo, la cual proporcionó una aproximación de baja dimensión (a través de un ACP) del espacio tangente, que además mostró una estimación de la conformación de un individuo en diferentes lugares de este espacio. Para tal fin fueron seleccionados 8 individuos, los cuales se ubicaron alrededor del consenso de este grupo (proceso realizado para cada Clúster) para observar patrones morfológicos de cada una de las maloclusiones dentro de esta agrupación (Figura 16).

El individuo 66, (rejilla central en el lado izquierdo), presentó una máxima puntuación negativa en el RW1 (eje X); el individuo 55 (rejilla central derecha), tuvo la máxima puntuación positiva para RW1 (eje Y); el individuo 22 (rejilla central superior), correspondió al máximo puntaje positivo del RW2 (eje Y); y el individuo 68 (rejilla inferior central), presentó la puntuación máxima negativa de RW2 (eje Y). El individuo 65 (rejilla ubicada en la esquina superior derecha) mostró los efectos compuestos de RW1 y RW2; el individuo 58 (rejilla superior izquierda), presentó mínimo puntaje intermedio para RW1 y RW2; el individuo 38 (rejilla inferior izquierda), mostró mínimos puntajes RW1 y RW2; y finalmente el individuo 60, (rejilla inferior derecha), tuvo los valores mínimos para RW1 y RW2.

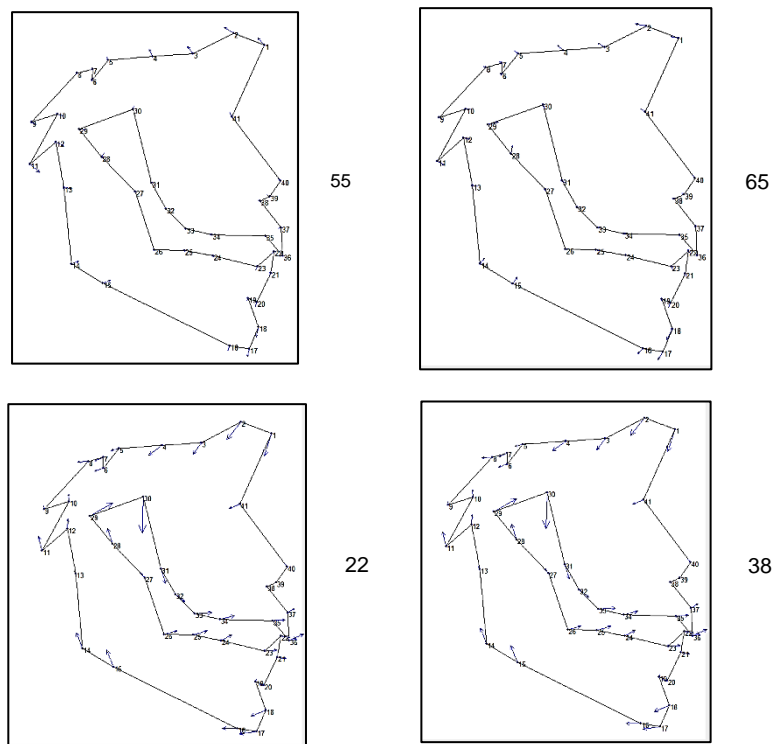
Este procedimiento permite observar una primera variación relacionada con la altura facial anterior, y la segunda variación permite contrastar la altura facial posterior con prognatismo en los individuos Clase I. La correspondencia entre estas variaciones es la siguiente: en cuanto al RW1, el aumento en la altura facial posterior se asocia con la contracción de las estructuras en el plano sagital, mientras que se observa expansión a medida que decrece la altura facial posterior (individuos 66-55).

La variación reflejada por el RW2 ocurre con los cambios en la altura facial anterior, el cual muestra expansión de las estructuras. Mientras ésta altura disminuye se inicia la contracción (individuos 22-68).

Los vectores muestran el comportamiento intra e interestructural y su relación con los patrones de maloclusión esquelética. A pesar de haber encontrado relativo equilibrio

interestructural en los individuos del Clúster 1, pueden observarse los vectores que representan mayor variación con respecto al consenso en este grupo. El individuo 55 muestra vectores ascendentes en base de cráneo anterior, sin embargo los vectores de tercio medio e inferior son estables. Esto indica un aumento de la altura facial anterior causada por la base de cráneo. Los vectores del individuo 65 a pesar de no ser fuertes, muestran un patrón de hiperdivergencia causada por base de cráneo y una rotación intermatricial leve con rotación del tercio inferior en sentido horario. Los individuos 22 y 38 mostraron mayor alteración de los vectores a nivel vertical en el área de la sínfisis y ángulo goniaco mostrando rotación horaria del tercio medio que evidencia la hiperdivergencia facial. Los vectores permiten la visualización de mecanismos de compensación esquelética los cuales están basados en zonas de reabsorción y aposición ósea. En individuos de Clase II Clase III la representación vectorial se hace más fuerte mostrando en el caso de los Clase III vectores extensos en dirección ascendente a nivel de base de cráneo anterior y en dirección descendente y posterior en tercio inferior para los casos de individuos con rotación intermatricial en sentido horario. (Figura 16).

Figura 16: Vectores de individuos con mayor deformación en el Clúster 1



En el Clúster 3 con predominio de individuos Clase III; el consenso de este grupo, la distribución de los individuos en el espacio de la forma es homogénea entorno al consenso, mostrando características sagitales y verticales estables tales como protrusión mandibular, retrusión maxilar alteración flexión en la base de cráneo mordida abierta y compensaciones dentales . El comportamiento del tercio medio y tercio inferior presenta asociación con las alturas anterior y posterior faciales, sin embargo su proyección es baja en general para este grupo, comparada con la observada en grupos anteriores. Es notoria la rotación matricial e intermatricial que determinan patrones de verticalidad y sagitalidad contribuyendo a la formación de biotipos faciales hiperdivergentes que según el grado de rotación de las matrices óseas, mejoran o agravan el pronóstico de la maloclusión esquelética de clase III. La flexión de la base craneal y su longitud participan de forma directa en el desarrollo de este tipo de maloclusión. Nótese que los individuos con ángulos de base craneal cerrados presentan características que disminuyen la verticalidad pero aumentan la clase III observada sagitalmente. El valor negativo más alto para el RW1 se presentó en el individuo 57; comparado con el valor positivo superior del individuo 19, en los cuales es evidente la variación en la altura facial anterior. En cuanto al RW2, la comparación de los individuos ubicados en los valores más altos, tanto positivo como negativo (individuo 21 y 25 respectivamente), muestran tanto para el extremo positivo como para el negativo la compresión leve del tercio medio facial, a diferencia del con una proyección similar del tercio medio e inferior (Figura 19).

El valor negativo más alto para el RW1 se presentó en el individuo 57; comparado con el valor positivo superior del individuo 19, lo cual muestra una variación notoria en la altura facial. En cuanto al RW2, la comparación de los individuos ubicados en los valores más altos, tanto positivo como negativo (individuo 21 y 25 respectivamente), para el extremo positivo una compresión del tercio inferior facial, a diferencia del extremo negativo que se proyecta, mostrando una ligera expansión de la rejilla (Figura 19).

En análisis del Clúster mixto compuesto por dos Clúster (Cluster4 y 5) con individuos Clase I y II, respectivamente se muestra en las Figuras 20-21.

La exploración grafica del Clúster 4, se realiza siguiendo los mismos parámetros del Clúster anterior. La distribución de los individuos en el espacio de la forma, presenta mayor

concentración en los cuadrantes I y III con valores positivos y negativos para RW1, individuos caracterizados por un aumento de la altura facial anterior. En cuanto al RW2 el comportamiento de la altura facial posterior aumentada se asocia a compresión y deformación de la rejilla (figura 20). Una característica sobresaliente de este grupo con predominio Clase II, es una base craneal anterior más amplia.

En el Cluster 4, compuesto predominantemente por individuos Clase II y una baja cantidad de individuos con respecto a los demás Clústers, y la distribución de la muestra en el espacio de la forma que corrobora gráficamente esta composición: en los cuadrantes izquierdos, presentó una alta concentración de individuos con características de Clase II, en el cuadrante inferior derecho se ubicaron los individuos cuyas conformaciones son de Clase III. Para el RW1 los individuos 26 y 20, puntajes más altos negativo y positivo, respectivamente. A medida que la altura facial posterior disminuyó, la rejilla de deformación mostró expansión en la región del tercio medio facial lo que muestra asociación entre la altura facial posterior y la proyección maxilar y mandibular. En el RW2, los individuos 13 y 29 mostraron que la proyección del tercio medio maxilomandibular está en función de la altura facial posterior (Figura 20).

En el Cluster 5 están agrupados individuos Clase II que presentan características combinadas de Clase I, se observa un comportamiento similar en el Tercio Medio Facial, sin embargo las diferencias con el Cluster 2, que agrupa individuos Clase II, son las compresiones de las rejillas presentes en el tercio inferior en este grupo (Figura 21). En éste Clúster están agrupados individuos combinados de clase I y Clase II con predominio de clase I, se observa mayor deformación de la rejilla en tercio inferior con una compresión de ésta a nivel del tercio medio, sin embargo, la principal diferencia con el Clúster 2, que agrupa individuos Clase II, son las compresiones de las rejillas presentes en el tercio inferior en este grupo (Figura 21).

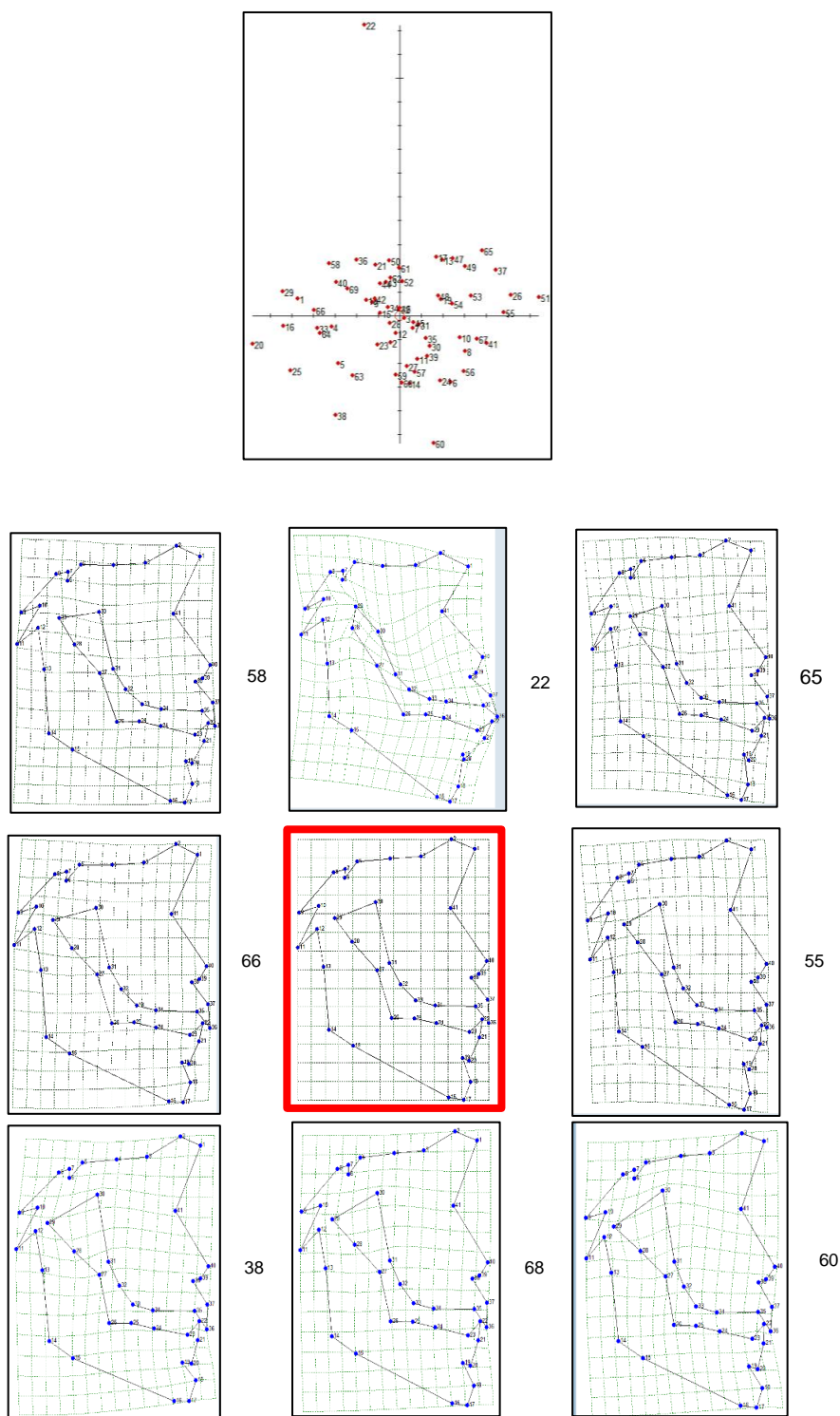
Figura 17: Exploración de la variación morfológica del Cluster 1

Gráfico de dispersión del análisis de componentes principales de RW asociados a las rejillas de deformación con respecto al consenso. (Recuadro rojo). Se observa la variación total de la muestra y la distribución de los individuos del Cluster 1 (Clase I) en el espacio de la forma

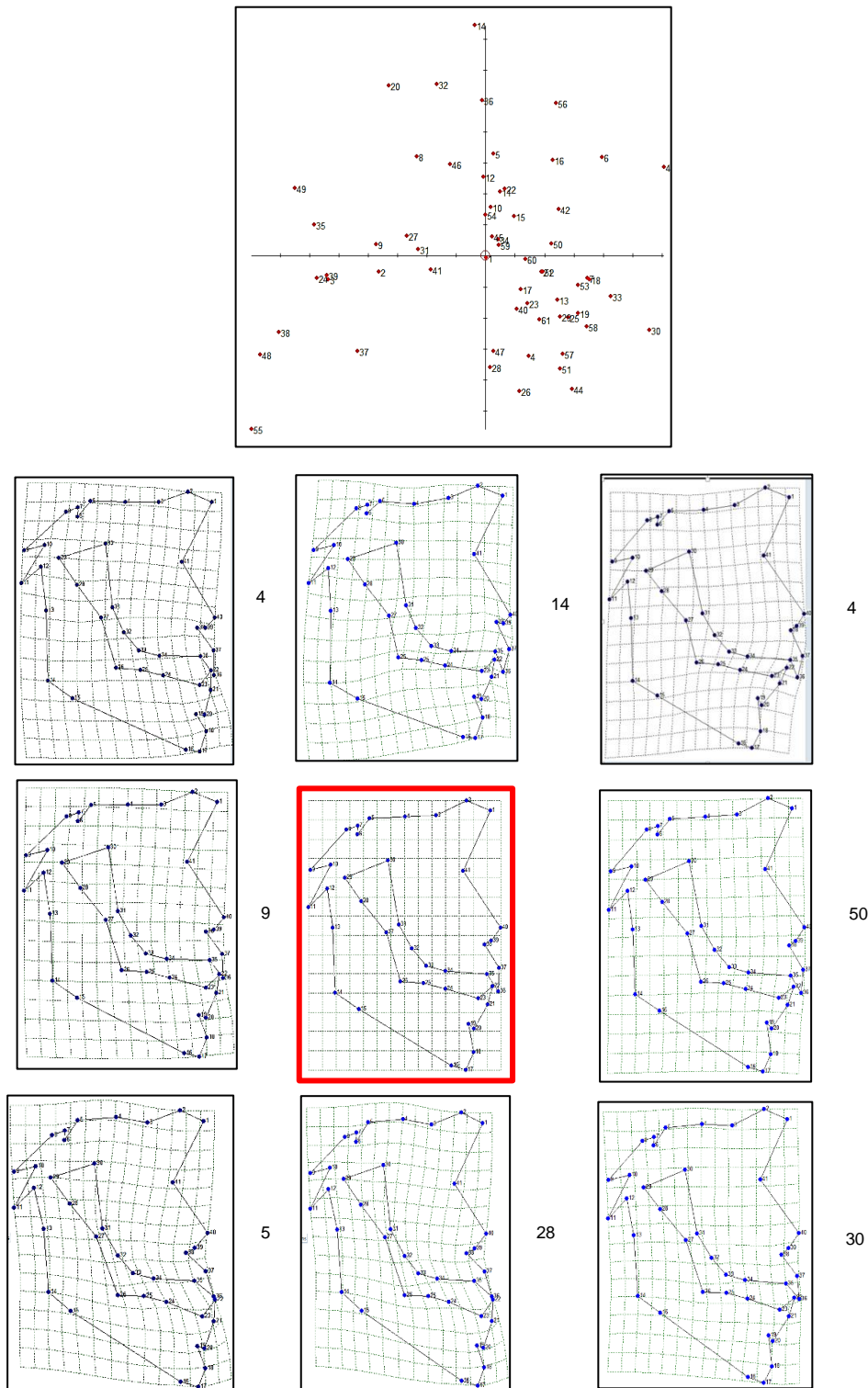
Figura 18: Exploración de la variación morfológica del Cluster 2

Gráfico de dispersión del análisis de componentes principales de RW asociados a las rejillas de deformación con respecto al consenso. (recuadro rojo). Se observa la variación total de la muestra y la distribución de los individuos del Cluster 2 (Clase II) en el espacio de la forma

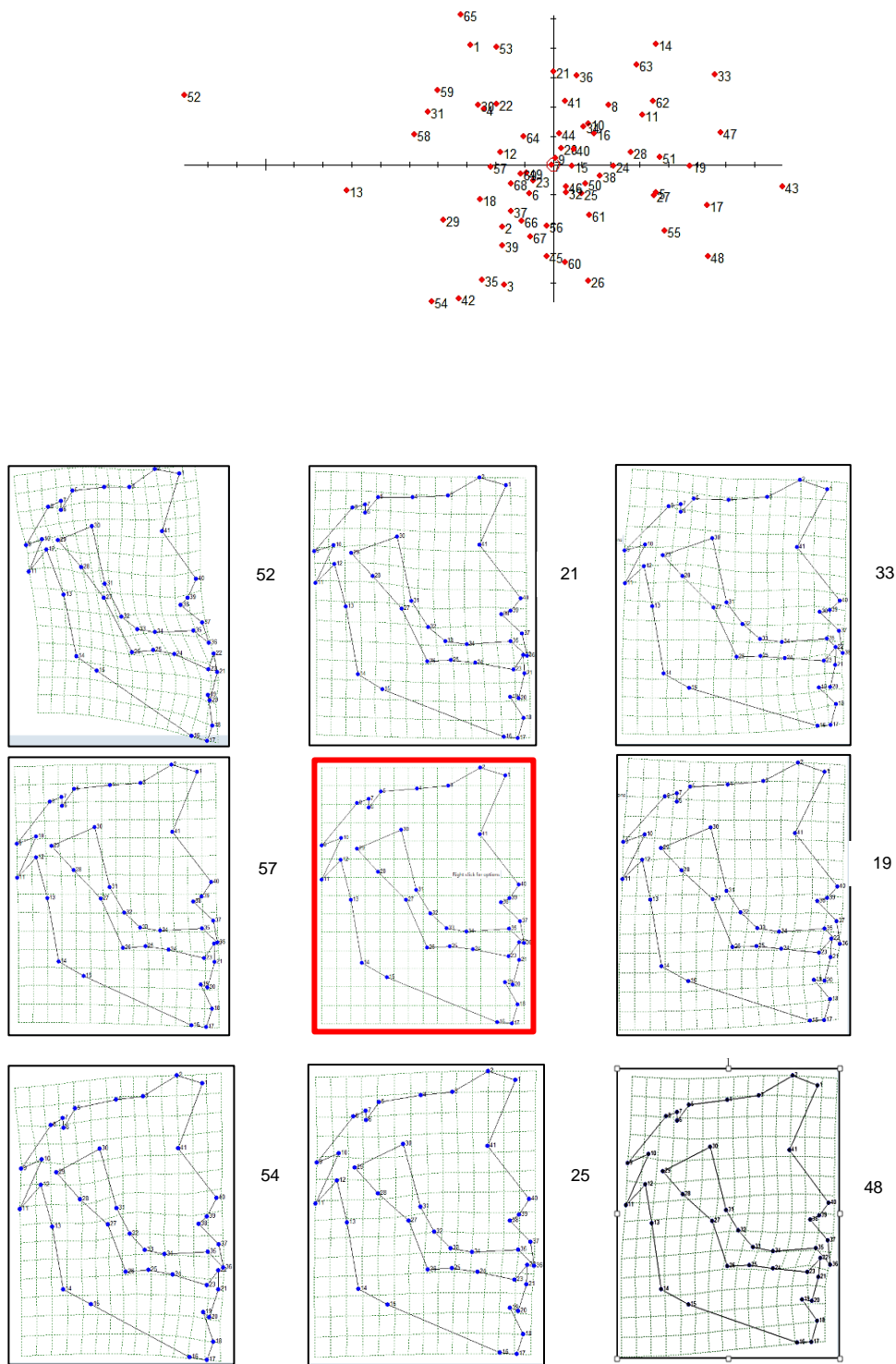
Figura 19: Exploración de la variación morfológica del Cluster 3

Gráfico de dispersión del análisis de componentes principales de RW asociados a las rejillas de deformación con respecto al consenso.(recuadro rojo). Se observa la variación total de la muestra v la distribución de los individuos del Cluster 3 (Clase III)

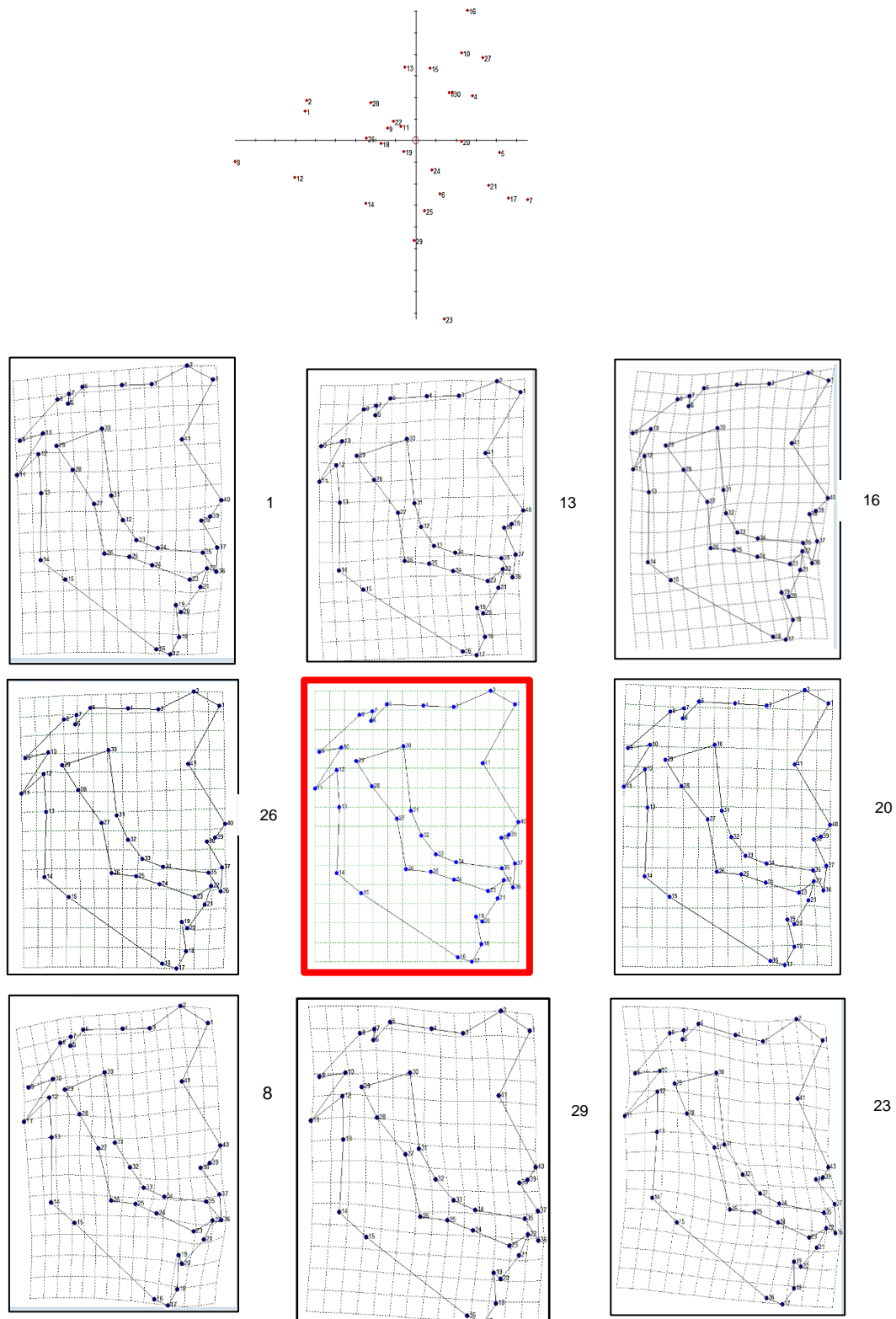
Figura 20: Exploración de la variación morfológica del Cluster 4

Gráfico de dispersión del análisis de componentes principales de RW asociados a las rejillas de deformación con respecto al consenso. (recuadro rojo). Se observa la variación total de la muestra y la distribución de los individuos del Cluster 4 (predominio Clase II) en el espacio de

Figura 21: Exploración de la variación morfológica del Cluster 5

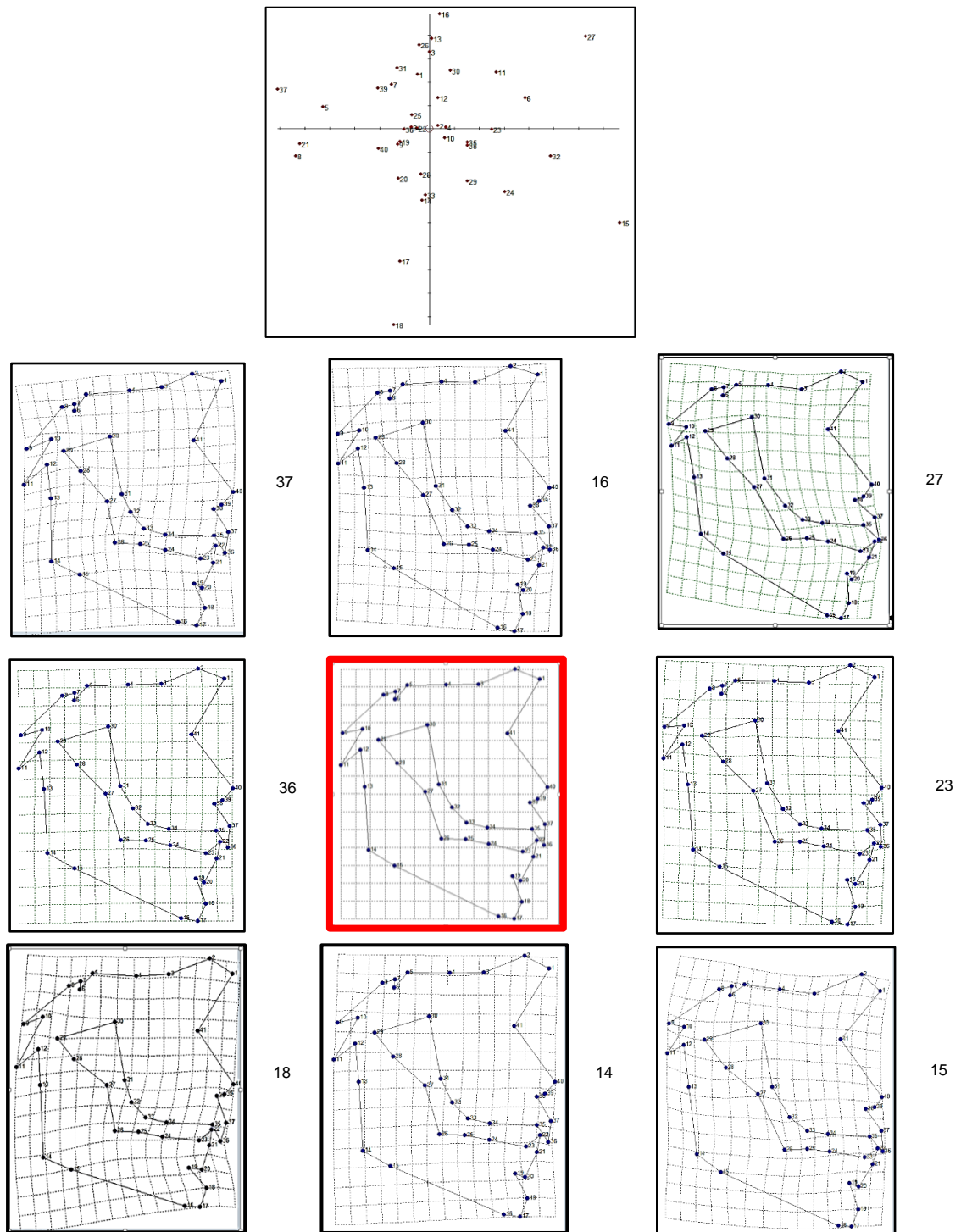


Gráfico de dispersión del análisis de componentes principales de RW asociados a las rejillas de deformación con respecto al consenso. (Recuadro rojo). Se observa la variación total de la muestra y la distribución de los individuos del Cluster 5 (predominio clase I) en el espacio

Discusión

El estudio se realizó sobre 269 radiografías de perfil, hombres (n= 139), mujeres (n= 130) obtenidas de la muestra clasificada y caracterizada por la Dra. Nancy Castro Guevara en su estudio, "Modelo de Identificación de Patrones del Tercio Medio Facial en Clase I, II y III Esquelética: Un Análisis Morfogeométrico" (1), En la cual se utilizaron criterios específicos para la selección de los individuos a estudiar, tales como: sujetos de ambos sexos en edades entre 17 y 25 años con maloclusiones de Clases I, II y III esquelética, dentición permanente completa sin tratamientos ortodóncicos y de rehabilitación previos, ni enfermedades sistémicas, congénitas o adquiridas.

Los datos utilizados para el análisis de esta muestra se obtuvieron de un conjunto de 41 *landmarks* ubicados en base de cráneo, tercio medio y mandíbula, para formar la Región Craneofacial Total (RCFT)

Se utilizó Morfometría Geométrica (MG) porque proporcionan una manera útil para explorar cambios en la forma facial en relación con el tamaño y la conformación de las estructuras craneofaciales. Las herramientas de la MG permiten, la identificación de los *landmarks* con baja sensibilidad al error en su identificación, además mediante un número reducido de mediciones se logra una precisa identificación del grado de variación en la muestra con respecto al consenso. (11–13,16).

Previo al inicio del estudio, se realizó test de calibración intra-observador y se valoró el riesgo de error del método como mínimo, teniendo en cuenta los resultados de la prueba de repetibilidad con un valor de $p < 0.05$.

Este estudio aborda el problema de la variación morfológica de las maloclusiones esqueléticas de Clases I, II y III a partir de la conformación de la RCFT; cada uno de los

análisis se enfocaron en la identificación de patrones craneofaciales verticales y sagitales en dichas maloclusiones, para responder a la pregunta de investigación planteada: ¿Es el análisis morfométrico geométrico una herramienta útil en la identificación de la participación de las características verticales y sagitales de los componentes craneofaciales en la conformación de las relaciones esqueléticas I, II y III?. Se respondió a éste interrogante mediante el desarrollo de los dos objetivos específicos:

1. Caracterizar las diferencias conformacionales de las discrepancias verticales y sagitales de la estructura craneofacial en relaciones esqueléticas I, II, y III.
2. . Describir cambios morfológicos de los grupos conformacionales determinados

Se examinaron los patrones de variación de las conformaciones de la RCFT con el fin de evaluar las diferencias Una MANOVA no paramétrica bajo la hipótesis nula (no hay diferencias significativas entre los vectores de las medias de cada grupo de maloclusión) permitió evaluar las diferencias en dichos grupos. El análisis no paramétrico de la varianza reportó diferencias significativas entre todos los grupos de maloclusiones ($p=0,0317$). Los resultados sugieren que la hipótesis nula debe ser rechazada. (Diferencias significativas entre Clase I II y III)

Con respecto al tamaño se encontraron diferencias significativas entre los diferentes Clústers, lo que se evidencio mediante la prueba de hipótesis que indicó que la media de cada uno de los grupos fue diferente a la de los otros. La comparación de tamaño de los cinco Clústers estudiados, mostró diferencias estadísticamente significativas entre los grupos, observándose mayor equilibrio en los individuos de Clase I ($n=69$), mientras que en los individuos de Clase II, Clase III, predominio de Clase II y predominio Clase I mostraron una distribución más dispersa del tamaño CS. También se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los individuos del Clúster 3, que en términos de tamaño indica, que estos presentan un tamaño mayor al de los individuos del Clúster 1 y 2. Mientras que los individuos del Clúster 5 son de menor tamaño y se observan diferencias significativas entre estos y los individuos de los demás Clústers.

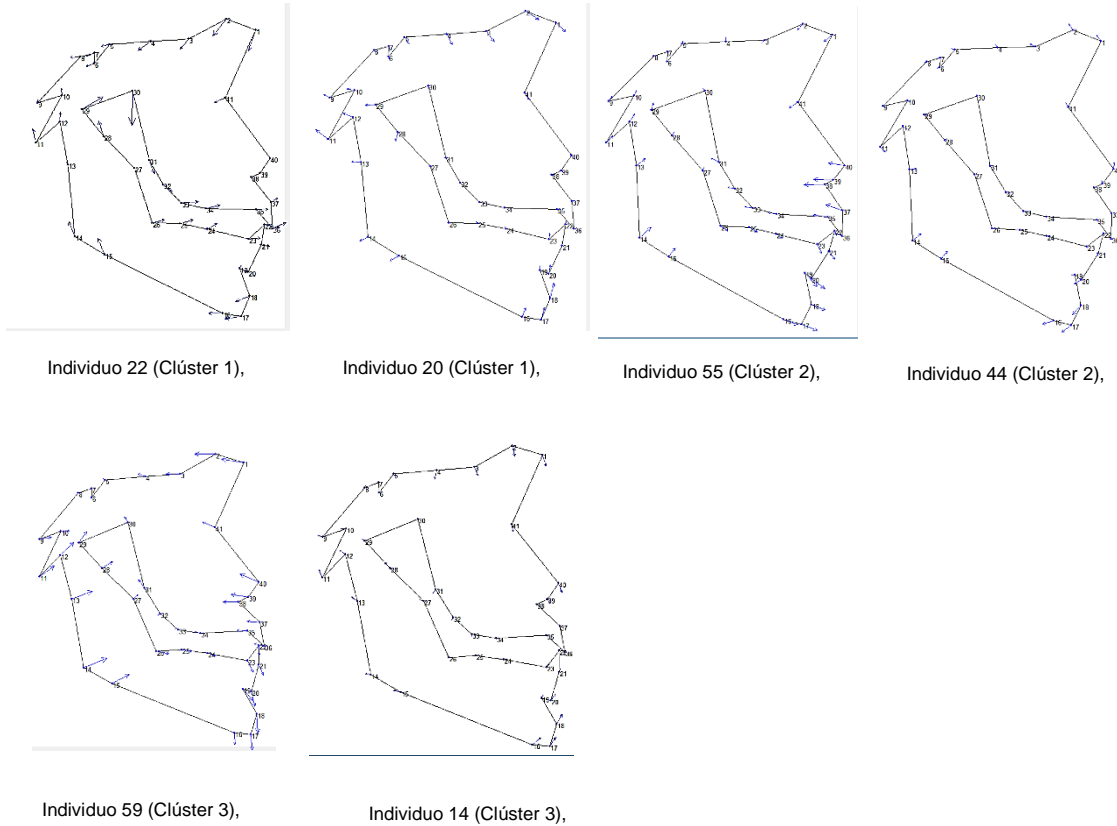
Los análisis revelan que las cinco maloclusiones pueden distinguirse en función de aspectos de la forma craneofacial mostrando características propias de cada una lo que se corroboró mediante el análisis discriminante que mostró una separación

estadísticamente significativa entre los cinco grupos de maloclusión. Las morfologías son evidentes independientemente de su edad o sexo ya que estas no son variables evaluadas en este estudio. Las relaciones relativas entre las morfologías de las cinco maloclusiones fueron calculadas a partir de radiografías de perfil de pacientes adultos, y mediante las correlaciones entre las distancias de Mahalanobis, distinguiéndose de esta forma las características morfológicas y de conformación de cada una de las maloclusiones en estudio.

En aquellos individuos en los cuales hubo mayor flexión de la base craneal se observó mayor tendencia a la hiperdivergencia, así mismo los individuos con bases craneales cortas presentaron un patrón vertical hiperdivergente lo cual puede ser un mecanismo de compensación.

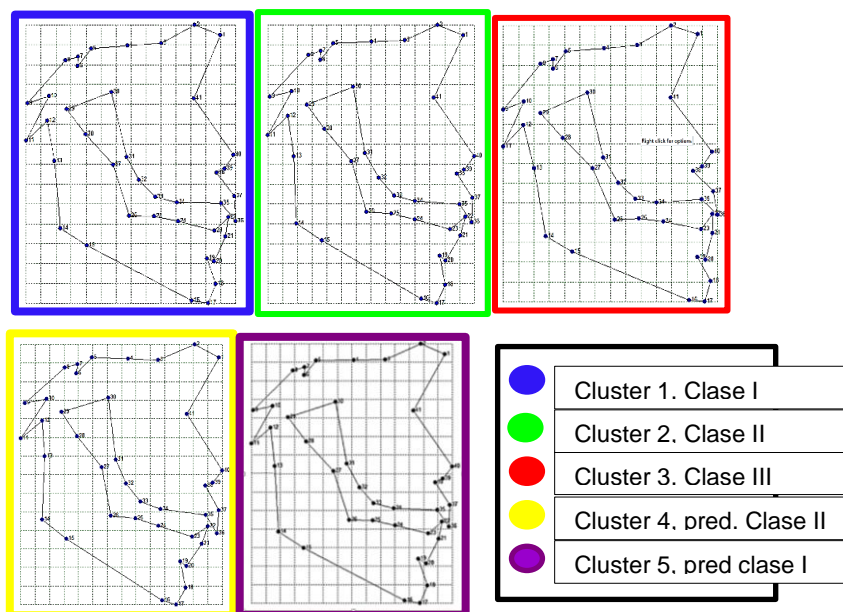
Resultados que se sustentan a la luz de los reportes de Enlow (1982), quien demostró la influencia del crecimiento de la base craneal en el crecimiento y posición del maxilar y la mandíbula. Sin embargo afirmó que la mandíbula actúa de manera más independiente ya que está relativamente alejada de la base de cráneo, aunque su articulación con la fosa glenoidea representa una potencial influencia de la base craneal en su crecimiento y posición, sugiriendo que esta última si se ve influenciada por la magnitud de la flexión de la base craneal; cuanto menor sea el ángulo de la base craneal, se encontrará una mayor tendencia de la posición mandibular adelantada; el maxilar es igualmente afectado por éste ángulo, lo que sugiere un papel fundamental para la base craneal en la determinación del prognatismo facial que el indicado por la geometría (85). Lo anterior no es concordante con los hallazgos de Dhopatkar et al (2002), quienes realizaron un estudio cefalométrico retrospectivo para examinar la contribución del ángulo de la base craneal en cuatro grupos de maloclusión, sus resultados mostraron que la flexión de la base craneal no juega un papel central en la determinación de la maloclusión. Sin embargo, fue significativamente diferente entre las Clases de maloclusión, y concluyeron que el ángulo de la base craneal por sí solo no juega un papel fundamental en el establecimiento de la maloclusión y que las longitudes de la mandíbula son significativamente diferentes entre grupos de maloclusión (46). La figura 22 muestra los vectores de individuos de cada uno de los cluster estudiados en los que se observaron características relevantes en base de cráneo asociadas con el patrón sagital y vertical, concordantes con los resultados propuestos por Enlow (1982)

Figura 22: Vistas de individuos con diferentes maloclusiones en los cuales es evidente la relación de la base de cráneo y la maloclusión esquelética



En las rejillas de deformación (TPS) se realizó la exploración de la Región Craneofacial Total (RCGT) para los diferentes grupos de maloclusión (Figura 23): se puede apreciar la variación baja en los consensos todas las maloclusiones, excepto en la Clase III, en la que se evidencian los cambios sagitales y verticales. Éstos resultados concuerdan con los hallazgos de Guyer et al (1986) en el cual, los componentes de clase III en diferentes grupos de edades encontraron mayor longitud de la base craneal, posición retrusiva del maxilar superior con longitud maxilar disminuida, posición mandibular prognática ángulo goniaco obtuso posicionado anteriormente y mayor longitud del tercio facial inferior (9)

Figura 23: Consensos de los cinco grupos de maloclusiones estudiados



Estos resultados hallados en las diferentes rejillas de deformación para los cinco Cluster de maloclusión esquelética, muestran diferencia significativa de tamaño del centroide en los cuales se puede observar como la deformación de las rejillas en base de cráneo se asocian con la posición sagital de los maxilares, además, como la flexión de la base de cráneo pueden generar alteraciones en relacionadas con la el biotipo facial, tal como lo describió Franchi (2007) utilizó MG—por medio de ACP, quien observó en su estudio que los pacientes con maloclusión de Clase II muestran una extensión de la base de cráneo que influencia el maxilar y otras estructuras relacionadas como el Vómer, desplazándolos hacia adelante, además los cambios morfológicos revelaron diferencias significativas en la forma mandibular en pacientes Clase I y II. diferencias que reflejaron el crecimiento en esta región craneofacial (86).

Las cinco maloclusiones evaluadas considerando la RCFT presentaron diferencias significativas, resultados concordantes también con los reportados por Bastir (2004); quien afirmó que las diferencias se dan por la variación vertical de la cara. Altura que puede ser influenciada por diferentes partes de ésta, tanto en base de cráneo, tercio medio y tercio inferior, los cuales aportan dimensiones tanto en posterior como anterior que pueden variar independientemente según la función, y estructura, contribuyendo en

diferentes grados a la altura final vertical de la cara del adulto y a la forma del sistema craneofacial completo (87).

Otra características encontradas en los individuos de Clase III son las variaciones en el Angulo goniaco el cual puede ser abierto o cerrado, ángulo maxilomandibular disminuido con la consecuente disminución en el desarrollo del maxilar y prognatismo mandibular. Los cambios en patrones oclusales en éstos son dictados por la morfología, tamaño y la longitud mandibular. La protrusión mandibular puede ser una característica responsable de la maloclusión Clase III, lo cual se hace más evidente en adultos prognáticos. La morfología mandibular observada para la maloclusión de Clase III puede representar un alargamiento de la mandíbula que conduce a la aparición de un perfil prognático. La rama es horizontalmente más estrecha tal como lo demuestran las compresiones horizontales entre sus bordes anterior y posterior en la transformación, por lo tanto reduce la extensión y parcialmente compensa la protrusión mandibular. La rama más estrecha es una característica anatómica compensatoria clave, que reduce efectivamente la frecuencia y gravedad de la maloclusión esquelética Clase III, además es una característica que minimiza los rasgos esqueléticos en los sujetos con ésta maloclusión. Las compensaciones dentoalveolares son característica de la maloclusión esquelética Clase III en los sujetos prognáticos. Las observaciones anteriores se sustentan con los resultados reportados por *Jin Yun Pan et al en 2006 en individuos asiáticos* (33).

La variaciones en el tamaño y la forma de los maxilares Un estudio realizado por J. Freudenthaler et al 2017 demostró que la forma y posición relativa de la mandíbula contribuye a maloclusión, variando considerablemente dentro de los grupos de maloclusión. Mientras que la forma maxilar y la base craneal muestran menos variación. Ellos sugieren que la morfología esquelética desempeña un papel más importante en los individuos con maloclusión clase III que en otras maloclusiones y que entre sujetos de Clase III se presentan considerablemente menos variables que los otros grupos de maloclusión. En este estudio los pacientes con maloclusión clase I muestran menor alteración en la forma entre 8 y 20 años, y pacientes con mordida abierta anterior presentan un patrón esquelético más hiperdivergente; los resultados reportados por éstos autores soportan los hallazgos de la presente investigación, demostrando que es la MG es una herramienta útil en la caracterización de las maloclusiones esqueléticas,

sin embargo, el diagnóstico de maloclusiones dentales con la cefalometría tradicional parece ser igual o más eficiente que la morfometría geométrica (88)

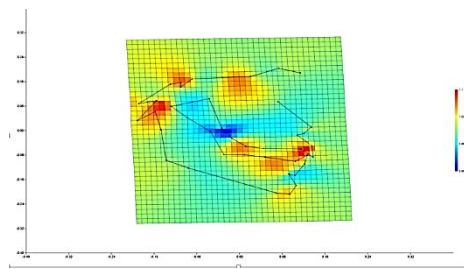
Govea Soler et al (2016) mostró la influencia de la base cráneo con la divergencia facial tomando como referencia el plano SN, éste estudio sustenta los hallazgos obtenidos con morfometría geométrica. El patrón facial hiperdivergente, con biotipos faciales dolicocefálicos, presentan una angulación de la base de cráneo aumentada, mientras que los pacientes hipodivergentes, con un biotipo facial braquifacial presentan menos angulación de la base de cráneo, sin embargo no debe ser la base de cráneo el único elemento predictor en la evaluación del biotipo facial. Debe considerarse la longitud del tercio medio y del tercio inferior, así como la rotación maxilomandibular (89). En los mapas de factores de expansión para cada uno de Clúster mostrados en la Figura 24 se pueden observar las regiones de mayor deformación en cada una de las cinco maloclusiones. Son importantes las altas deformaciones en la base de cráneo las cuales se asocian según lo analizado anteriormente con la posición relativa de la mandíbula y el tamaño del tercio medio. En estos sobresale el aumento de calor a nivel de base de cráneo anterior y posterior, área posterior del tercio medio, sínfisis mandibular, punto B y región dentoalveolar anterior, indicando que estas áreas son de alta variabilidad en cada una de las maloclusiones.

Halazonetis en 2004 reportó que el 70% de la variabilidad de la forma se puede describir a través del análisis de cinco componentes principales. Mediante el primer PC, explica el mayor porcentaje de variabilidad de forma que corresponde a un 29% en el aspecto vertical y un 20% de variabilidad en las relaciones anteroposteriores (50). Hallazgos comparables con los resultados de la presente investigación en la cual se logró reunir el 80% de la varianza total en los primeros cuatro componentes principales

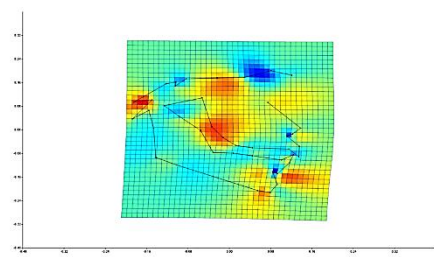
El presente estudio ha indicado que existen diferencias entre cinco grupos de maloclusiones en pacientes adultos tomando como referente el Área Craneofacial Total de pacientes adultos, resultados relacionados con los hallazgos de O'Higgins et al (2002) quienes a pesar de no haber estudiado maloclusiones, sino morfología facial reportaron diferencias significativas en la forma facial con procesos o mecanismos ontogenéticos. El primero es el desarrollo prenatal, y relacionado con aspectos de la morfología específica de poblaciones específicas (53). Segundo, las disimilitudes en las trayectorias ontogenéticas entre poblaciones las cuales no son estadísticamente

significativas entre todas las poblaciones. Y el tercero, las distinciones de alometrias ontogenéticas en mayores rangos de tamaños, es decir, escala. El escalamiento puede producir diferentes morfologías de adultos en poblaciones con alometrias paralelas (escalamiento ontogenético), o diferencias provocadas por la divergencia alométrica (53). Si bien son tres parámetros referenciados para la forma facial, estos pueden influir directamente en el desarrollo de las maloclusiones esqueléticas.

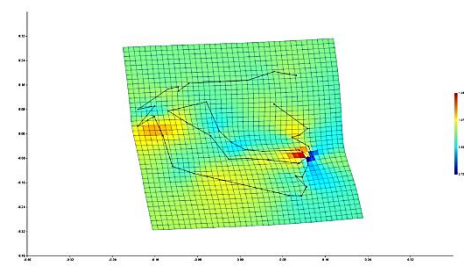
Figura 24: Mapas de factores de expansión para cada uno de Clúster



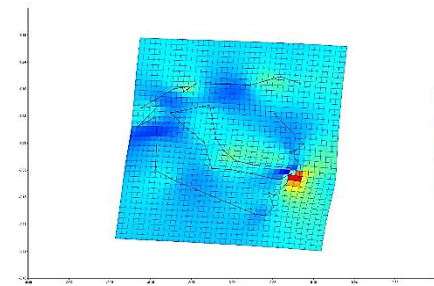
a) Consenso vs consenso Clúster 1



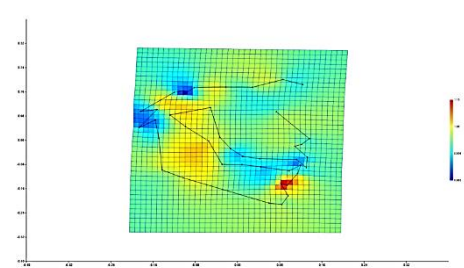
b) Consenso vs consenso Clúster 2



c) Consenso vs consenso Clúster 3



d) Consenso vs consenso Clúster 4



e) Consenso vs consenso Clúster 5

Franklin et al (2007) reporta un alto poder de clasificación (del 70% al 83) del análisis discriminante validado de forma cruzada usando PCs en la evaluación del dimorfismo sexual con respecto al tamaño de mandíbula en tres tipos de poblaciones (56); resultados que sustentan desde el punto de vista técnico los encontrados en el presente estudio, en el que se encontró un alto poder de clasificación mediante ésta herramienta cuyos valores oscilaron entre el 50% y el 80% como lo muestra la (Tabla 11).

Tabla 11: Porcentaje de clasificación de individuos por Clúster

Vista lateral		
Grupo	N° de individuos de permutaciones	Porcentaje de clasificación
Cluster 1	39 / 69	56%
Cluster 2	37 / 61	60%
Cluster 3	38 / 69	55%
Cluster 4	15 / 30	50%
Cluster 5	32 / 40	80%

Los hallazgos de las rejillas específicas del Cluster III se pueden sustentar y comparar con los resultados reportados por Polychronis y Halazonetis (2014) quienes describieron el patrón de Clase III esquelética con características generales tales como retrusión maxilar relativa y protrusión mandibular, hiperdivergencia, rotación hacia adelante de la base craneal posterior y la rotación ascendente de la base craneal anterior, los que se asociaron con el alargamiento mesiodistal de los molares inferiores y la reducción de la altura de sus cúspides (90). Estos patrones relacionados con la flexión de base de cráneo se pueden identificar según la deformación de las rejillas; es notoria que a mayor flexión de la base de cráneo, mayor es la divergencia facial, lo que facialmente proyecta un biotipo leptoprosopo; el patrón cambia cuando se presenta una menor flexión de la base de cráneo, disminuyéndose la verticalidad. Otro aspecto importante que se puede observar en éste Cluster es la relación de la longitud de la base craneal con la proyección del tamaño anteroposterior de la mandíbula, lo que a su vez genera menor proyección del tercio medio (Figura 25).

Sight en 1998 realizó un estudio sobre morfometría de elementos finitos para caracterizar la morfología y el tamaño mandibular en sujetos con maloclusión Clase III. A pesar de que la técnica difiere con MG, presenta similitudes en el desarrollo técnico y en los hallazgos.

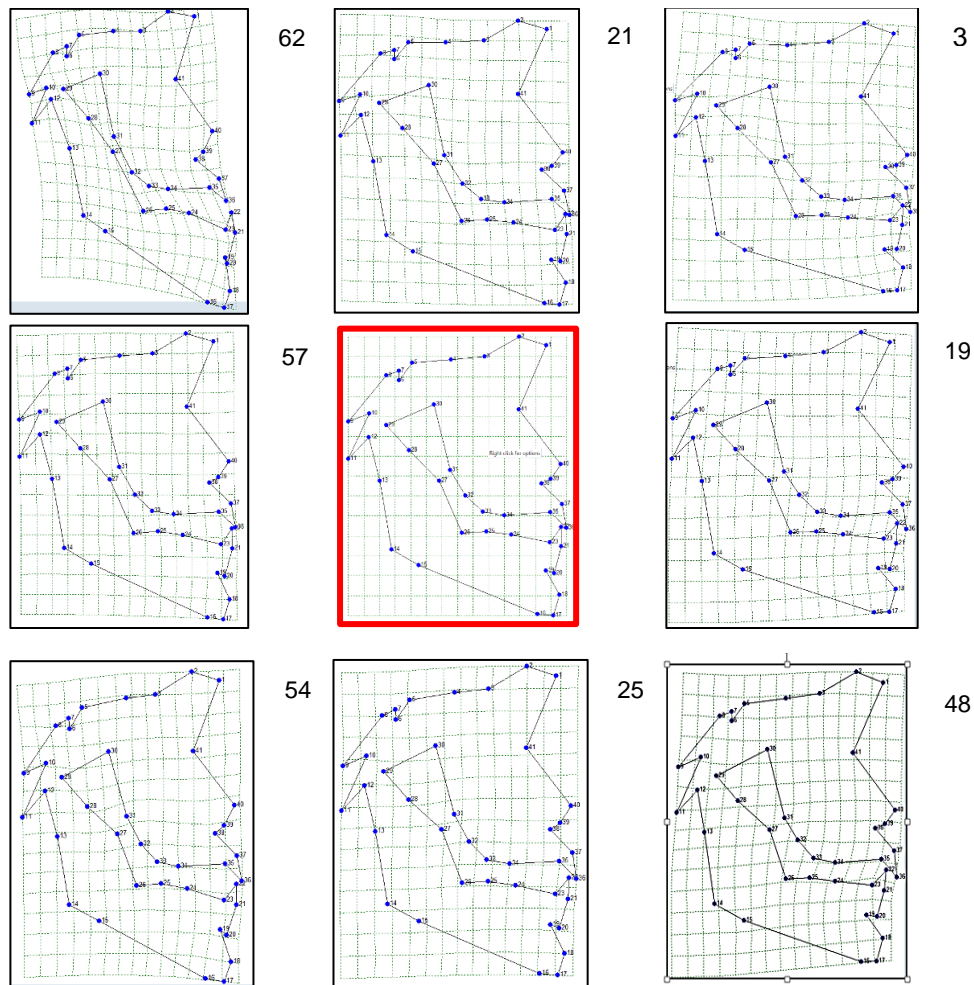
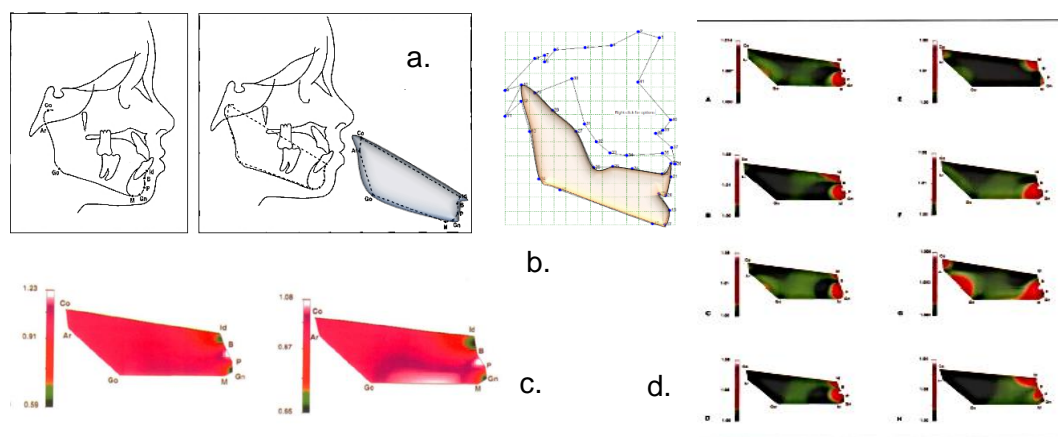
Figura 25: Variación morfológica del Cluster 3

Gráfico de dispersión del análisis de componentes principales de RW asociados a las rejillas de deformación con respecto al consenso. (Recuadro rojo). Se observa la variación total de la muestra y la distribución de los individuos del Cluster 3 (Clase III) en el espacio de la forma

En este estudio los Hitos seleccionados corresponden en un 80% a los utilizados en el presente estudio. Conformando una región mandibular similar a la estudiada en el presente estudio. Los resultados son comparables, dado que en este estudio se encontró una gran variación en áreas específicas en la maloclusión esquelética Clase III (Figura 22), similares a las variaciones encontradas con Elementos Finitos. Los hallazgos del presente estudio con respecto a la conformación de los individuos con maloclusión esquelética se pueden sustentar con éste estudio, en el que se encontró en varios grupos etáreos, una

configuración homogénea de la morfología mandibular. Sin embargo, en la región sinfisiaria, entre infradental y pogonion, hubo cambios anisotrópicos significativos. Cambios menores se observaron en la región dentoalveolar correspondiente a los incisivos anteroinferiores, que pueden corresponder a compensaciones dentales de Clase III (figura 23) (91).

Figura 26: Variación en áreas específicas en la maloclusión esquelética Clase III mediante el modelo de elementos finitos



Representación de los landmarks analizados por Sight en 1998 en la evaluación de la morfología y el tamaño mandibular en sujetos con maloclusión Clase III (a). Obsérvese la similitud del área mandibular determinada por estos landmarks y la determinada por los landmarks mandibulares del presente estudio (b). (c y d) muestran variación en áreas específicas en la maloclusión esquelética Clase III mediante el método de elementos finitos. Imágenes tomadas de Sight en 1998

Si se comparan los individuos pertenecientes al Cluster 3 (Clase III) con individuos de Clase I y II, se pueden identificar cambios alometricos en la morfología del cuerpo mandibular alrededor de la región supramental, con un ligero decrecimiento en estos cambios en la región alveolar de los incisivos; los cambios en la forma mandibular fueron predominantemente isotrópicos, con excepción de la región anterior de la mandíbula en los individuos Clase III cuyos cambios fueron anisotropicos asociados con el prognatismo mandibular.

Los resultados de estos análisis son importantes en el contexto de la arqueología, la antropología forense, la identificación de los restos óseos adultos, y no menos importante en el diagnostico e identificación de patrones de maloclusión que contribuyen a la orientación de planes de tratamiento de ortodoncia

4. Conclusiones y recomendaciones

4.1 Conclusiones

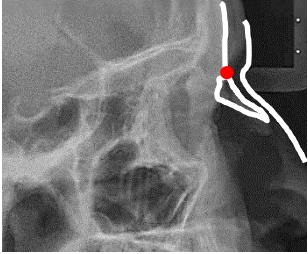
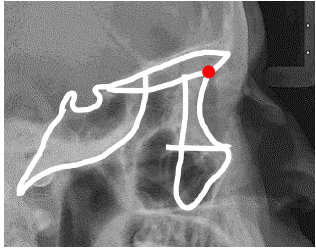
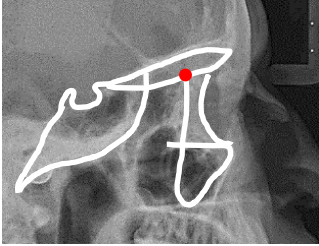
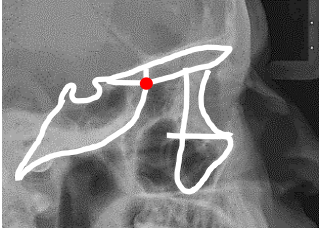
- Con el desarrollo de la presente investigación se logró aportar al conocimiento ya existente en Morfometría Geométrica en la caracterización de patrones de maloclusiones esqueléticas, su análisis y cuantificación con respecto a las conformaciones de la Región Craneofacial Total, sobrepasando las limitaciones que presentan los métodos tradicionales de diagnóstico
- Los análisis realizados permitieron observar diferencias en tamaño y conformación de la Región Craneofacial Total en los cinco Clúster de maloclusiones, demostrando la utilidad de la M.G en la identificación de la participación de las características verticales y sagitales de los componentes craneofaciales en la conformación de las relaciones esqueléticas I, II y III.
- Mediante M.G se pueden identificar cambios morfológicos de la Región Craneofacial Total, los cuales se expresan a través variaciones en la forma y tamaño que obedecen a procesos ontogénicos y epigenéticos, patrones que al ser identificados permiten la identificación de características propias de cada una de las maloclusiones, información de gran relevancia en el diagnóstico, planeación de tratamientos, y clasificación de individuos.
- En el diagnóstico de las maloclusiones esqueléticas se deben considerar las variaciones intra e interestructural, ya que las estructuras del complejo craneofacial están estrechamente relacionadas y por tanto los cambios sucedidos en una estructura influyen de forma directa o indirecta en estructuras adyacentes. Un ejemplo claro de ello es lo que sucede con el comportamiento de la base de cráneo

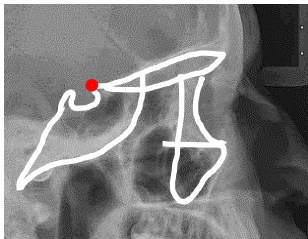
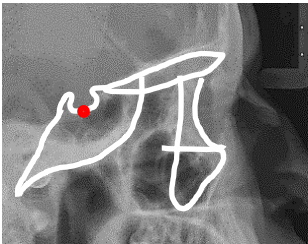
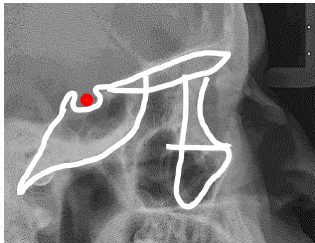
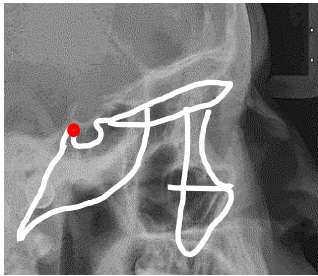
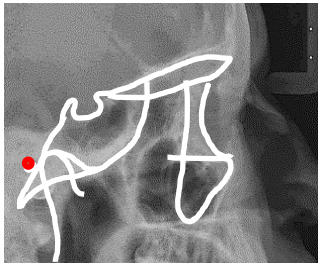
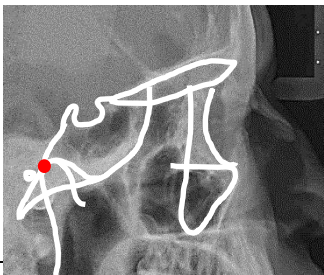
que, a pesar de estar relativamente alejada de la mandíbula, presenta una influencia potencial en las características matriciales intermatriciales de ésta. Lo que indica que el comportamiento entre las estructuras craneofaciales es recíproco.

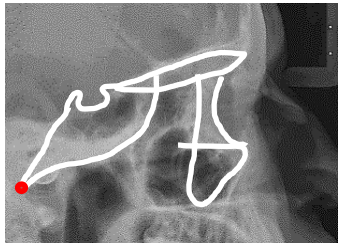
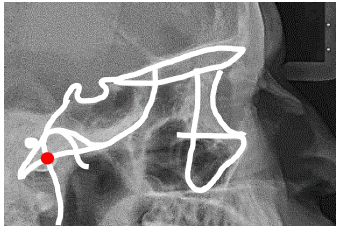
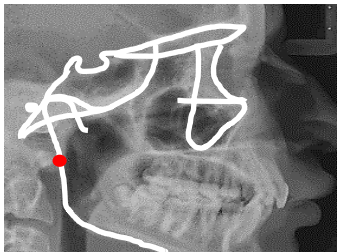
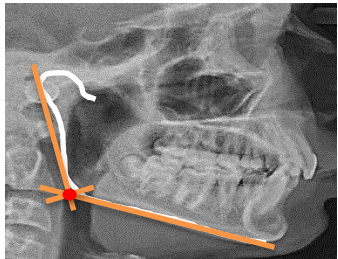
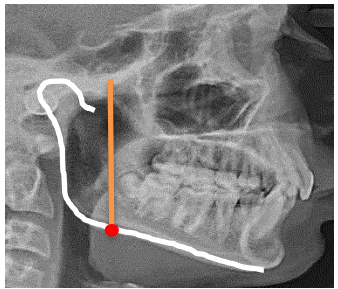
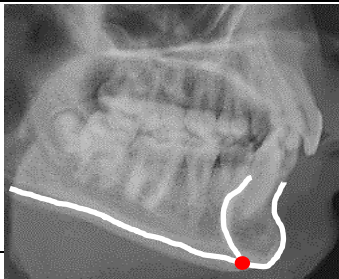
4.2 Recomendaciones

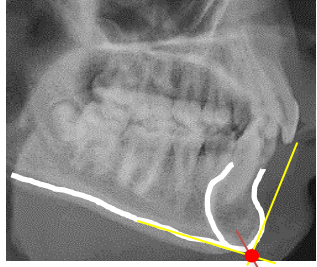
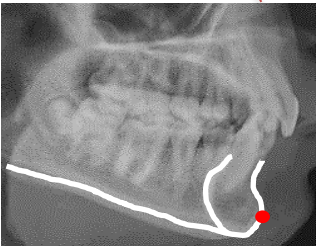
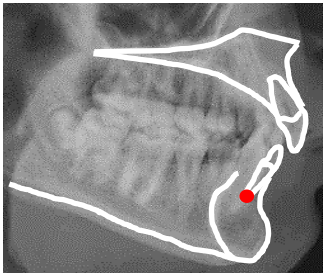
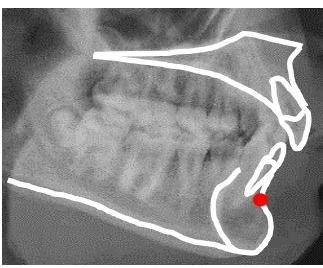
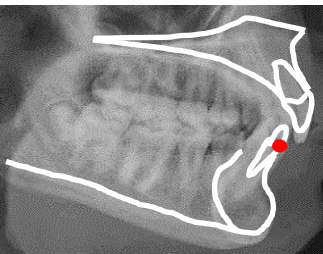
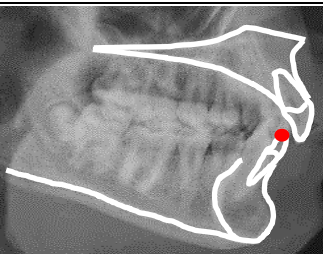
- Aprovechar las ayudas diagnósticas, radiográficas y fotográficas obtenidas en esta muestra para analizar más variables importantes que permitan comprender el comportamiento de otras estructuras óseas maxilofaciales en las diferentes maloclusiones, además se podrán lograr valores de referencia, propios de nuestra población no solo en MG sino en diagnóstico y análisis facial
- Se recomienda con esta muestra evaluar mediante M.G características dentoalveolares y realizar la respectiva comparación de nuevos datos resultantes con los estudios ya realizados con esta muestra.

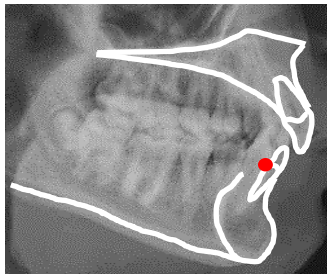
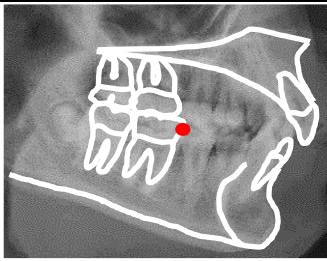
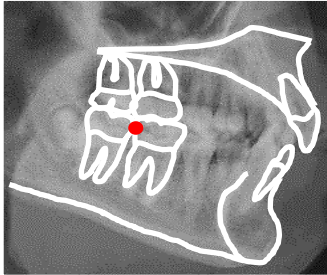
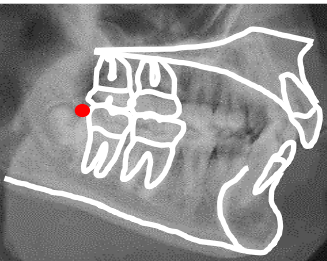
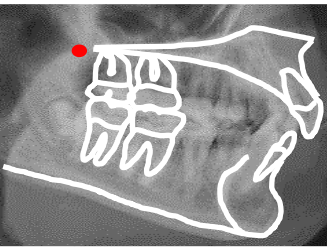
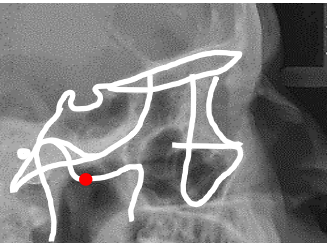
Anexo 1: Tabla de Clasificación y ubicación de puntos cefalométricos

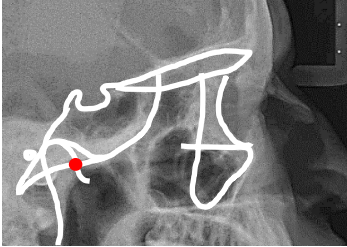
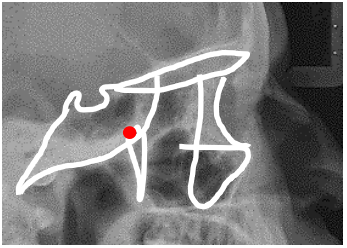
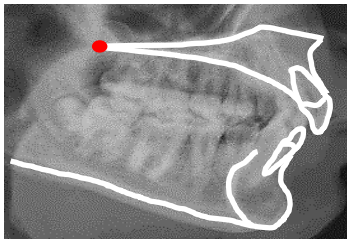
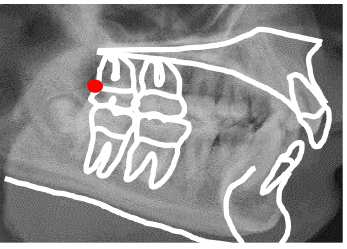
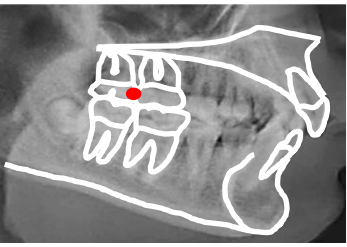
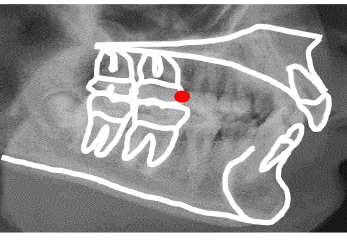
N°	Abrev	Landmark	Definición	Landmark Tipo	Ubicación radiográfica
1	N	Nasion	Punto más anterior de la sutura frontonasal en el plano sagital medio	I	
2	SO	Supraorbitario	Punto más anterior en el techo de la órbita en su contorno lateral (Sassouni)	II	
3	Te	Temporal	Punto ubicado en la intersección del hueso etmoides y la pared anterior de la fosa temporal	I	
4	Esf	Esfenoetmoidal	Punto en la intersección del ala mayor del esfenoides y el suelo de la base craneal visto en forma lateral.	I	

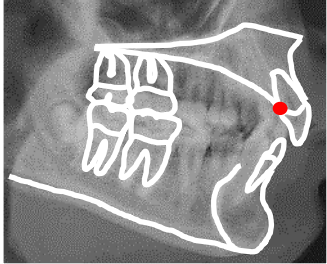
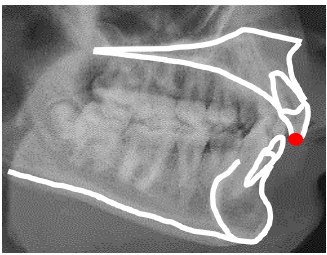
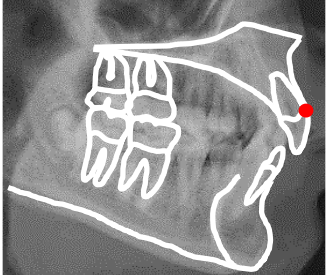
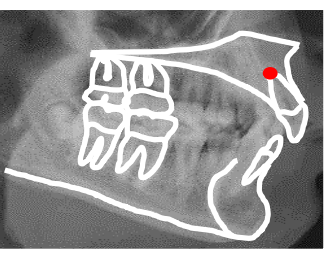
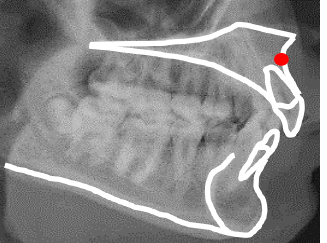
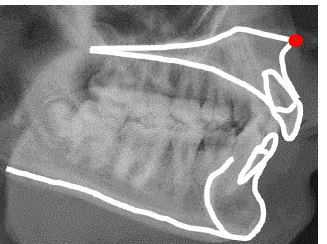
5	Apoclan	Apófisis Clinoides anterior	Punto más anterior y superior del contorno de la silla del hueso esfenoides de la base del cráneo.	II	
6	PS	Piso de Silla	Punto más profundo ubicado en el contorno interno de la silla turca	II	
7	S	Silla	Punto ubicado en el centro de la silla turca	III	
8	Aclipo	Apófisis Clinoides Posterior	Punto más posterior y superior del contorno de la silla del hueso esfenoides de la base del cráneo.	II	
9	Po	Porion	Punto más superior ubicado sobre el conducto auditivo externo (McNamara)	III	
10	Co	Condilion	Punto más posterosuperior del cóndilo mandibular (McNamara)	II	

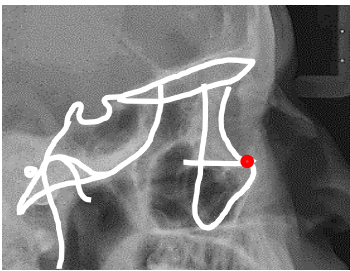
11	Ba	Basion	Punto más anterior e inferior del foramen magno, o el punto más anterior e inferior del apófisis basilar del occipital. (McNamara)	II	
12	Arp	Articular Posterior	Punto en la intersección entre el contorno posterior del cóndilo mandibular con el contorno de la base craneal	I	
13	R1	Rama 1	Punto ubicado en el contorno posterior de la rama mandibular a la altura de la porción más cóncava y media	II	
14	Go	Goniaco	Bisectriz del ángulo formado por la tangente del borde posterior de la rama ascendente con el borde inferior del cuerpo de la rama sobre el contorno mandibular	II	
15	R2	Rama 2	Punto en el borde inferior de la rama ascendente - proyección del punto R3 paralelo a Ptv.	II	
16	Me	Mentón	Punto de intersección entre borde inferior mandibular y la cortical externa de la sínfisis mentoniana	I	

17	Gn	Gnation	Bisectriz formada entre la tangente de cuerpo mandibular y borde anterior de sínfisis (en ángulo recto) proyectada sobre contorno de la sínfisis	II	
18	Pog	Pogonion	Punto más anterior y prominente del contorno anterior de la mandíbula	II	
19	Api1i	Apical 1 i	Punto más apical en la raíz del incisivo inferior	I	
20	B	Punto B	Supramental: Punto más profundo del contorno anterior mandibular entre infradental y pogonion	II	
21	Pr1iv	Prostion 1 inferior vestibular	Punto más superior del reborde alveolar inferior sobre la superficie vestibular del incisivo central (Unión amelo-cementaria)	I	
22	I1i	Incisal 1 inferior	Punto ubicado en el borde incisal del incisivo central inferior	I	

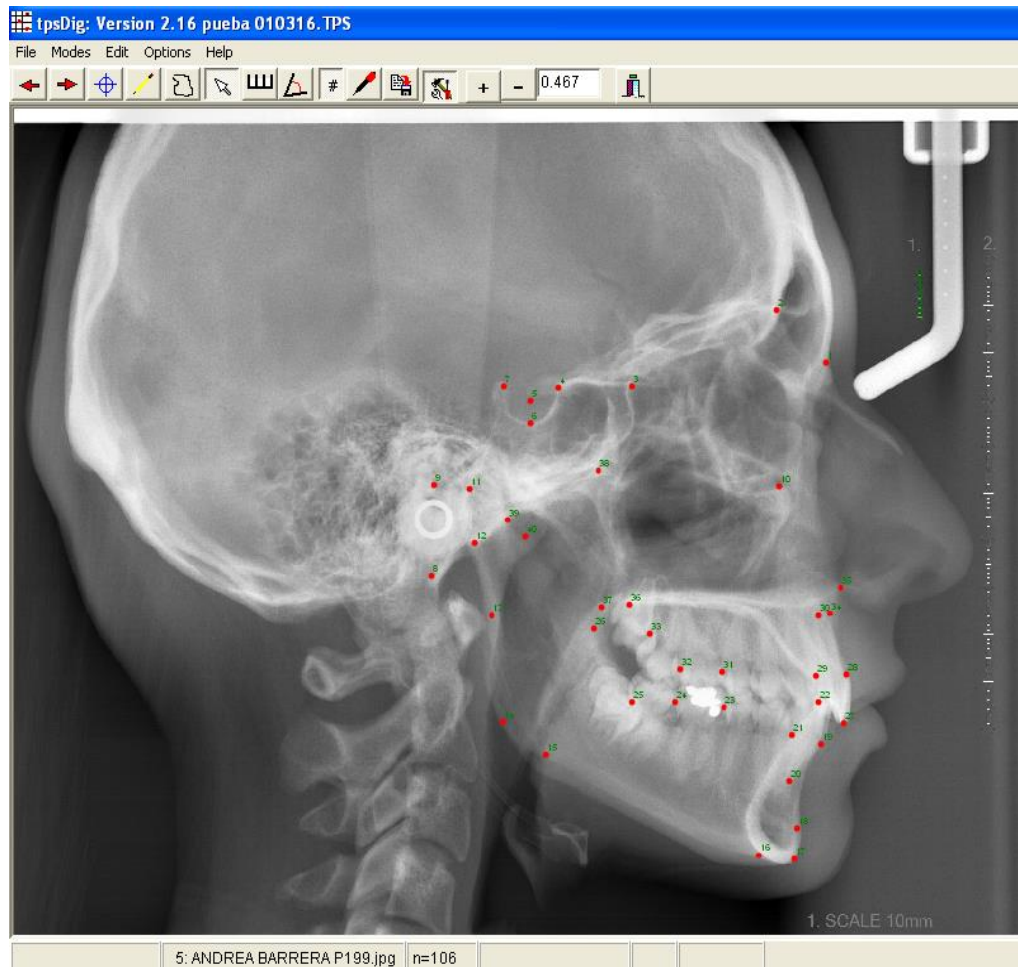
23	Pr1iL	Prostion 1 inferior lingual	Punto más superior del reborde alveolar inferior sobre la superficie lingual del incisivo central (Unión amelo-cementaria)	I	
24	M6i	Mesial 6 inferior	Punto ubicado en la superficie mesial del primer molar inferior a nivel de centro de la convexidad de ésta	I	
25	D6i	Distal 6 inferior	Punto ubicado en la superficie distal del primer molar inferior a nivel de centro de la convexidad de ésta	I	
26	Pai	Postalverion inferior	El punto más posterior en la intersección del proceso alveolar con la superficie distal del segundo molar inferior	I	
27	R3	Rama 3	Punto más profundo de la concavidad del borde anterior de la rama ascendente.	I	
28	R 4	Rama 4 Escotadura mandibular	punto más profundo de la escotadura sigmoides	II	

29	AA	Articular anterior	Punto en la intersección entre el contorno anterior del cóndilo mandibular con el contorno de la base craneal	I	
30	Pt	Pterion	Punto más superior posterior en la fisura pterigomaxilar		
31	ENP	Espina nasal posterior	Punto más posterior del contorno horizontal del hueso palatino.	I	
32	Postalv sup	Postalverion Superior	El punto más posterior en la intersección del proceso alveolar con la superficie distal del segundo molar superior	I	
33	D6s	Distal 6 Superior	Punto ubicado en la superficie mesial del primer molar superior a nivel de centro de la convexidad de ésta.	I	
34	M6s	Mesial 6 superior	Punto ubicado en la superficie mesial del primer molar superior a nivel de centro de la convexidad de ésta	I	

35	Ppsi	Prostion 1 superior palatino	Punto más inferior del reborde alveolar superior sobre la superficie lingual del incisivo central (Unión amelo-cementaria)	I	
36	Ils	Incisal 1 superior	Punto ubicado en el borde incisal del incisivo central superior	I	
37	Plsv	Prostion 1 superior vestibular	Punto más inferior del reborde alveolar superior sobre la superficie labial del incisivo central (Unión amelo-cementaria)	I	
38		apical 1 superior	Punto más apical en la raíz del incisivo central superior	I	
39	A	Punto A	Punto más profundo del contorno anterior maxilar entre ENA y Prostion anterior	II	
40	ENA	Espina nasal anterior	Punto más anterior de la cresta nasal anterior a nivel del plano medio	I	

41	Or	Orbital	Punto más inferior sobre el borde inferior de la órbita (McNamara)	II	
----	----	---------	--	----	--

B. Anexo: ubicación de 41 landmarks del Área Craneofacial Total



Referencias Bibliográficas

1. Castro Guevara NE. Modelo de identificación de patrones del tercio medio facial en clase I, II y III esquelética: un análisis morfogeométrico. 2013;159. Available from: <http://www.bdigital.unal.edu.co/11165/>
2. Baker C V, Bronner-Fraser M, Le Douarin NM, Teillet MA. Early- and late-migrating cranial neural crest cell populations have equivalent developmental potential in vivo. *Development*. 1997;124(16):3077–87.
3. Opperman LA, Gakunga PT, Carlson DS. Genetic factors influencing morphogenesis and growth of sutures and synchondroses in the craniofacial complex. *Semin Orthod*. 2005;11(4):199–208.
4. Todd JT, Mark LS. Issues related to the prediction of craniofacial growth. Vol. 79, *American Journal of Orthodontics*. 1981. p. 63–80.
5. Banabilh SM, Samsudin AR, Suzina AH, Dinsuhaimi S. Facial profile shape, malocclusion and palatal morphology in Malay obstructive sleep apnea patients. *Angle Orthod*. 2010;80(1):37–42.
6. Downs WB. Analysis of the Dentofacial Profile. Vol. 26, *The Angle Orthodontist*. 1956. p. 191–212.
7. Steiner CC. Cephalometrics in clinical practice.pdf. Vol. 29, *The Angle orthodontist*. 1959. p. 8–29.
8. Bishara SE. Class II malocclusions: Diagnostic and clinical considerations with and without treatment. *Semin Orthod*. 2006;12(1):11–24.
9. Guyer EC, Ellis EE, McNamara JA, Behrents RG. Components of class III malocclusion in juveniles and adolescents. Vol. 56, *The Angle orthodontist*. 1986. p. 7–30.
10. Bastir M, Rosas A. Cranial base topology and basic trends in the facial evolution of Homo. *J Hum Evol* [Internet]. 2016;91:26–35.
11. Nanda RS. The rates of growth of several facial components measured from serial cephalometric roentgenograms. *Am J Orthod*. 1955;41:658–73.
12. Farkas LG. Growth pattern of the nose, upper lip and mouth: A morphometric sectional study of the normal caucasian population. *J Oral Maxillofac Surg*. 1989; 47 (8, Supplement 1):129-.
13. Turchetta BJ, Fishman LS, Subtelny JD. Facial growth prediction: A comparison of methodologies. *Am J Orthod Dentofac Orthop*. 2007;132(4):439–49.
14. Farkas L, Deutsch C. Anthropometric proportions in the upper lip- lower lip- chin area of the lower face in young white adults. *Am J Orthod*, N 1, vol 86, p 52-60. 1984.
15. Alarcón JA, Bastir M, Rosas A, Molero J. Chincup treatment modifies the mandibular shape in children with prognathism. *Am J Orthod Dentofac Orthop* [Internet]. 2011;140(1):38–43.
16. Rosas A, Bastir M, Alarcón JA, Kuroe K. Thin-plate spline analysis of the cranial base in African, Asian and European populations and its relationship with different malocclusions. *Arch Oral Biol*. 2008;53(9):826–34.
17. Van der Molen S, Gonzalez R. Introducción a la morfometría geométrica curso teórico-práctico. CENPAT-CONICET, Puerto Madryn, Argentina. Disponible en internet
18. Camila T, Sandoval N, González FA. Uso de redes neuronales artificiales en predicción de morfología mandibular a través de variables craneomaxilares en una vista posteroanterior. *Univ Javeriana*. 2016 Ene-Jun; 33(74).

19. Esperanza N, Guevara C, Contreras CI. Variación de patrones morfológicos craneofaciales en relaciones esqueléticas Clase I , II y III. *Rev Fac Odontol Univ Antioq* 2015; 26(2): 292-313
20. Sperber GH, Guttman GD, Sperber SM. Craniofacial Development (Book for Windows & Macintosh) (Google eBook) [Internet]. 2001. p. 220.
21. Pol MP. Neural Crests , Placodes and Branchial Arches : A Review of Basic and Recent Evolutionary and Embryological Data crestas neurales , placodas y arcos branquiales : UNA. 2017;(April).
22. Trainor PA, Krumlauf R. Hox genes, neural crest cells and branchial arch patterning. *Curr Opin Cell Biol.* 2001;13(6):698–705.
23. Schlosser G. Induction and specification of cranial placodes. *Dev Biol.* 2006;294(2):303–51.
24. Szabo-Rogers HL, Smithers LE, Yakob W, Liu KJ. New directions in craniofacial morphogenesis. *Dev Biol.* 2010;341(1):84–94. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ydbio.2009.11.021>
25. Lotz K, Proff P, Bienengraeber V, Fanghaenel J, Gedrange T, Weingaertner J. Apoptosis as a creative agent of embryonic development of bucca, mentum and nasolacrimal duct. An in vivo study in rats. *J Cranio-Maxillofacial Surg.* 2006;34(SUPPL. 2):8–13.
26. Ross CF, Henneberg M, Ravosa MJ, Richard S. Curvilinear, geometric and phylogenetic modeling of basicranial flexion: Is it adaptive, is it constrained. *J Hum Evol.* 2004;46(2):185–213.
27. Bastir M, Rosas A. Correlated variation between the lateral basicranium and the face: A geometric morphometric study in different human groups. *Arch Oral Biol.* 2006;51(9):814–24.
28. Morris JL, Ph D, Mentor F. an Investigation Into the Relationship Between. 2007;83(5):1–10.
29. Innocenti C, Giuntini V, Defraia E, Baccetti T. Glenoid fossa position in Class III malocclusion associated with mandibular protrusion. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* 2009;135(4):438–41.
30. Sarnat B. Growth pattern of the mandible: Some reflections. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* 1986;90(3):221–33.
31. Hassan AH. Cephalometric characteristics of Class II division 1 malocclusion in a Saudi population living in the western region. *Saudi Dent J [Internet].* 2011;23(1):23–7.
32. Rudolph DJ, White SE, Sinclair PM. Multivariate prediction of skeletal Class II growth. *Angle Orthod.* :283–91.
33. Pan J-Y, Chou S-T, Chang H-P, Liu P-H. Morphometric Analysis of the Mandible in Subjects with Class III Malocclusion. *Kaohsiung J Med Sci [Internet].* 2006;22(7):331–8.
34. Wellens HLL, Kuijpers-Jagtman AM, Halazonetis DJ. Geometric morphometric analysis of craniofacial variation, ontogeny and modularity in a cross-sectional sample of modern humans. *J Anat.* 2013;222(4):397–409.
35. Singh G, Allometry of the craneal base in prepubertal korean subjets with class III malocclusions: finite element morphometry. *Angle orthod*, vol 69, N 6. p 507-514. 1999.
36. Bastir M, Sobral PG, Kuroe K, Rosas A. Human craniofacial sphericity: A simultaneous analysis of frontal and lateral cephalograms of a Japanese population using geometric morphometrics and partial least squares analysis. *Arch*

- Oral Biol. 2008;53(4):295–303.
37. Zamora C. Compendio de cefalometría, análisis clínico y práctico. 2004.
 38. Riedel R. The relation of maxillary structures to cranium in malocclusion and in normal occlusion. Vol. 22, Angle Orthod. 1952. p. 142–5.
 39. Castruita G, Fernandez A, Marichi F. La asociación entre el arco de sonrisa y los corredores bucales con el biotipo facial en sujetos con normoclusión. Rev Mex Ortod. 2015;3(1):8–12.
 40. Segura F, Valverde A, Ocampo A, Angelares P. Estudio comparativo entre la cefalometría digital y manual con radiografías digitales. Rev Mex Ortod [Internet]. 2014;2(2):95–98.
 41. Le-Tien T, Pham-Chi H. An Approach for Efficient Detection of Cephalometric Landmarks. Procedia Comput Sci [Internet]. 2014;37:293–300.
 42. Paredes V, Gandia JL, Cibrián R. Digital diagnosis records in orthodontics. An overview. Med oral, Patol oral y cirugía bucal. 2006;11(1).
 43. Eknoyan G. Quetelet A (1796-1874) - The average man and indices of obesity. Nephrol Dial Transplant. 2008;23(1):47–51.
 44. Ruiz Gutiérrez R, Suárez y López Guazo L. Eugenesia, herencia, selección y biometría en la obra de Francis Galton. Lull Rev la Soc Española Hist las Ciencias y las Técnicas. 2002;25:85–107.
 45. Walker G, Kowalski C. Computer morphometrics in craniofacial biology. Comput Biol Med. 1972;2(3):235–49.
 46. Edward A. Cephalometric appraisal of orthodontic results. A preliminary report Angle Orthod. vol VIII, N 4, 1938. p 261-265,.
 47. Bjork A. Some biological aspects of prognathism and occlusion of the teeth. Vol. 21, The Angle orthodontist. 1951. p. 3–27.
 48. Gasgoos SS. Cephalometric features of skeletal Class I , II and III (A comparative study). 2007;7(2):122–30.
 49. Horowitz SL, Osborne RH, DeGeorge F V. A cephalometric study of craniofacial variation in adult twins. Vol. 30, Angle Orthodontist. 1960. p. 1–5.
 50. Halazonetis DJ. Morphometrics for cephalometric diagnosis. Am J Orthod Dentofac Orthop. 2004;125(5):571–81.
 51. Moorrees CF a., Le Bret LM. The mesh Diagram and Cephalometrics [Internet]. 1962. p. 214–31.
 52. Sardi ML, Rozzi FV. A cross-sectional study of human craniofacial growth. Ann Hum Biol [Internet]. 2005;32(3):390–6.
 53. Viðarsdóttir U, O'Higgins P, Stringer C. A geometric morphometric study of regional differences in the ontogeny of the modern human facial skeleton. J Anat [Internet]. 2002;201:211–29.
 54. James M. Phenotypic, genetic, and environmental morphological integration in the cranium. Vol. 36, No. 3 (May, 1982), p. 499-516.
 55. Franklin D, Freedman L, Milne N, Oxnard C e. Geometric morphometric study of population variation in indigenous southern African crania. Am J Hum Biol. 2007;19(1):20–33.
 56. Franklin D, Oxnard CE, O'Higgins P, Dadour I. Sexual dimorphism in the subadult mandible: Quantification using geometric morphometrics. J Forensic Sci. 2007;52(1):6–10.
 57. Toro, I. M. V.; Manriquez, S. G. & Suazo, G. I. Morfometría geométrica y el estudio de las formas biológicas: de la morfología descriptiva a la morfología cuantitativa. Int. J. Morphol., 28(4):977-990 2010.

58. James Rohlf F, Marcus LF. A revolution morphometrics. *Trends Ecol Evol.* 1993;8(4):129–32.
59. Adams DC, Rohlf FJ, Slice DE. Geometric morphometrics: Ten years of progress following the “revolution.” *Ital J Zool.* 2004;71(1):5–16.
60. Klingenberg CP. MorphoJ: An integrated software package for geometric morphometrics. *Mol Ecol Resour.* 2011;11(2):353–7.
61. Gómez JM, Torices R, Lorite J, Klingenberg CP, Perfectti F. The role of pollinators in the evolution of corolla shape variation, disparity and integration in a highly diversified plant family with a conserved floral bauplan. *Ann Bot.* 2016;117(5):889–904.
62. Zelditch M. Developmental regulation of skull morphology. I. Ontogenetic dynamics of variance. *Evolution & Development* 6:3, 194–206 (2004).
63. Torcida S, Pérez SI. Análisis de procrustes y el estudio de la variación morfológica. *Rev argentina Antropol biológica.* 2012;14(1):131–41.
64. Kendall DG. Shape manifolds, procrustean metrics, and complex projective spaces. *Bull London Math Soc.* 1984;16(2):81–121.
65. Wall CE. Shape , Relative Size , and Size-Adjustments in Morphometrics. *Yearb Phys Anthropol.* 1995;161:137–61.
66. gloss1 @ life.bio.sunysb.edu [Internet]. Available from: <http://life.bio.sunysb.edu/morph/glossary/gloss1.html>
67. Bookstein FL. Foundations of morphometrics. Vol. 13, *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics.* 1982. p. 451–70.
68. Mitteroecker P, Gunz P. Advances in Geometric morphometrics. *Evol Biol.* 2009;36(2):235–47.
69. Jiang J, Xu T, Lin J. The relationship between estimated and registered natural head position. *Angle Orthod.* 2007;77(6):1019–24.
70. Verma SK, Maheshwari S, Gautam SN, Prabhat KC, Kumar S. Natural head position: Key position for radiographic and photographic analysis and research of craniofacial complex. *J Oral Biol Craniofacial Res* [Internet]. 2012;2(1):46–9.
71. Steiner CC. The use of cephalometrics as an aid to planning and assessing orthodontic treatment. *Am J Orthod.* 1960;46(10):721–35.
72. Naragond A, Kenganal S, Sagarkar R, Kumar N. Diagnostic Limitations of Cephalometrics in Orthodontics-A Review. *J Dent Med Sci.* 2012;3(1):30–5.
73. Anjam I, Valdman J. Fast MATLAB assembly of FEM matrices in 2D and 3D: Edge elements. *Appl Math Comput* [Internet]. 2015;267:252–63.
74. O'Higgins P, Bastir M, Kuczyk K. Shaping the human face. *Int Congr Ser.* 2006;1296:55–73.
75. Green H, Curnoe D. Sexual dimorphism in Southeast Asian crania: A geometric morphometric approach. *HOMO- J Comp Hum Biol* [Internet]. 2009;60(6):517–34.
76. Bookstein FL. Principal Warps: Thin-Plate Splines and the Decomposition of Deformations. Vol. 11, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence.* 1989. p. 567–85.
77. Retamal R. Efectos de la deformación craneana intencional sobre la expresión del dimorfismo sexual en cráneos adultos: un análisis morfométrico geométrico. Programa de Genética Humana, ICBM, Facultad de Medicina, Universidad de Chile. Santiago, Chile 2004
78. Lele S, Richtsmeier JT. Euclidean distance matrix analysis: Confidence intervals for form and growth differences. *Am J Phys Anthropol.* 1995;98(1):73–86.

79. Henry A, Thongsripong P, Fonseca-Gonzalez I, Jaramillo-Ocampo N, Dujardin JP. Wing shape of dengue vectors from around the world. *Infect Genet Evol*. 2010;10(2):207–14.
80. Hammer Ø, Harper DAT a. T, Ryan PD. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontol Electron* [Internet]. 2001;4(1)(1):1–9.
81. Cuadras CM. Métodos de análisis multivariante. *Publicaciones PPU*. 2014;305.
82. Peres-Neto PR, Jackson DA, Somers KM. How many principal components? stopping rules for determining the number of non-trivial axes revisited. *Comput Stat Data Anal*. 2005;49(4):974–97.
83. Dray S. On the number of principal components: A test of dimensionality based on measurements of similarity between matrices. *Comput Stat Data Anal*. 2008;52(4):2228–37.
84. Gómez R. Resumen Palabras clave. *Rev Fac Nac Salud Pública* [Internet]. 2002;20:1–17.
85. Enlow DH, Pfister C, Richardson E, Kuroda T. An analysis of Black and Caucasian craniofacial patterns. Vol. 52, *Angle Orthodontist*. 1982. p. 279–87.
86. Franchi L, Baccetti T, Stahl F, McNamara JA. Thin-plate spline analysis of craniofacial growth in class I and class II subjects. *Angle Orthod*. 2007;77(4):595–601.
87. Bastir M, Rosas A. Facial heights: Evolutionary relevance of postnatal ontogeny for facial orientation and skull morphology in humans and chimpanzees. *J Hum Evol*. 2004;47(5):359–81.
88. Freudenthaler J, Celar A, Ritt C, Mitterocker P. Geometric morphometrics of different malocclusions in lateral skull radiographs. *J Orofac Orthop*. 2016;11–20.
89. Soler LAG, Lozano MB. Relación entre el plano SN y el plano de Frankfort, según el biotipo facial. *Rev Mex Ortod* [Internet]. 2016;4(1):18–23.
90. Polychronis G, Halazonetis DJ. Shape covariation between the craniofacial complex and first molars in humans. *J Anat*. 2014;225(2):220–31.
91. Singh N, Harvati K, Hublin JJ, Klingenberg CP. Morphological evolution through integration: A quantitative study of cranial integration in Homo, Pan, Gorilla and Pongo. *J Hum Evol* [Internet]. 2012;62(1):155–64.